

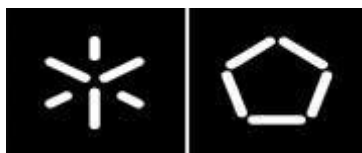


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Filipe Alexandre Pires Alberto

**Desenvolvimento de indicadores compostos de  
eficiência de gestão de recursos hídricos em usos  
agrícolas**

Abril 2018



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Filipe Alexandre Pires Alberto

**Desenvolvimento de indicadores compostos de  
eficiência de gestão de recursos hídricos em usos  
agrícolas**

Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Prof.Naim Haie**

Abril de 2018

## **Anexo 3**

# **DECLARAÇÃO**

Nome: Filipe Alexandre Pires Alberto

Endereço electrónico: pg22730@alunos.uminho.pt

Telefone: 925823879

Número do Bilhete de Identidade: 11270056

Título dissertação: Desenvolvimento de indicadores compostos de eficiência de gestão de recursos hídricos em usos agrícolas

Orientador(es): Naim Haie

Ano de conclusão: 2018

Designação do Mestrado: Engenharia Urbana

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, n.º máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, Abril de 2018

Assinatura:



## Agradecimentos

Agradecer a todos os que me ajudaram a conceber esta dissertação é algo que se afigura injusto. As palavras não bastam, é preciso muito mais. No entanto, posso deixar de mencionar o apoio de todos aqueles que contribuíram a formar-me enquanto pessoa e contribuíram para ser aquilo que sou hoje. Reconhecendo esta importância, seria impossível listar os nomes de todas essas pessoas. De qualquer modo, julgo ser relevante fazer aqui alguns agradecimentos diretos:

- Em primeiro lugar à minha mãe, ao meu pai, irmã e cunhado que me deram todos os valores, apoio e sustento ao longo da minha vida, fundamentais para desenvolver as capacidades e condições que me permitiram aqui chegar e por todos os sacrifícios que eles passaram para eu chegar aqui;
- À minha namorada que me apoiou e auxiliou. Pela paciência que teve e pelo que sempre me incentivou e ainda pelos conselhos tão úteis que ela me proporcionou;
- Ao Professor Naim Haie, orientador desta dissertação, cuja orientação científica, material, temática e crítica foi da maior importância para o rigor que se exige a um projeto deste tipo, contribuindo dessa forma para um trabalho muito mais elaborado e completo;
- A todos os meus amigos, sem exceção, pelo companheirismo e apoio nos momentos mais difíceis. Aqueles que são amigos de verdade, estão lá sempre, onde é preciso estar;
- Agradeço também a todos aqueles, cuja referência direta me é impossível de destacar, mas que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta dissertação.

A todos eles,

O meu grande Bem-haja.

## Resumo

As alterações climáticas que se têm feito sentir nas últimas décadas, provocaram diversas alterações nos ecossistemas, que alterou o paradigma da gestão dos recursos hídricos. As necessidades de água para os consumos humanos são cada vez maiores, mas a disponibilidade não tem aumentado na mesma proporção.

Sendo a água um recurso finito torna-se fundamental promover um uso eficiente e racional deste recurso. Para tal, é necessário aplicar indicadores de eficiência para avaliar o uso dos recursos hídricos.

Para avaliar o uso dos recursos hídricos em sistemas agrícolas, no Concelho de Pinhel, na região da Beira Alta, em Portugal, usaram-se indicadores de eficiência compostos, através de um método denominado por Sefficiency. Este método apresenta vantagens em relação a outros, nomeadamente a universalidade de aplicação, o emprego de três escalas de análise (macro, meso e micro eficiências), com base em dois tipos de totais de água de um sistema: a entrada total e o consumo total. Estes indicadores consideram todos os fluxos de entrada e saída de água num sistema de gestão de recursos hídricos, incorporando um critério de utilidade, que é o produto de dois pesos, um referente à qualidade da água e outro ao benéfico uso da água.

Nesta dissertação será analisada a eficiência em duas freguesias do concelho mencionado, bem como a relação entre estes dois sistemas, percebendo como o sistema mais a montante influenciará o que está mais a jusante. Para se tentou estudar como alterações no sistema (alteração de culturas, alteração de parâmetros energéticos, entre outros) poderão ser fatores de melhoria ou não.

Apartir da análise destes fatores serão propostas ações de melhoria.

Palavras-chave: Eficiência, Sistema de Recursos Hídricos, nexos *water-energy-food*, Critério de Utilidade.

## **Abstract**

The climate change that has been felt in last decades, induced several changes in ecosystems, which changed the paradigm of water resources management. Water needed for human consumption are increasing, but availability has not increased in the same proportion.

As water is a finite resource, it is fundamental to promote an efficient and rational use of this resource. To do this, it is necessary apply efficiency indicators to evaluate the use of water resources.

In order to evaluate the use of water resources in agricultural systems, in the municipality of Pinhel, in the Beira Alta Region, in Portugal, it was used composed performance indicators, using a method called Sefficiency. This method has advantages over others, like the universality of application, the use of three scales of analysis (macro, meso and micro efficiencies), based on two types of a system water totals: total input and total consumption. These indicators consider all the inflows and outflows of water in a water resources management system, incorporating a utility criterion, which is the product of two weights, one referring to water quality and another to the beneficial use of water.

This dissertation will analyze the efficiency in two villages of the region mentioned, as well as the relationship between these two systems, realizing how the upstream system will influence downstream system. For the purpose of studying how changes in the system (crop changes, energy parameters changes, among others) may be improvement factors or not.

From the analysis of these factors will be proposed improvement actions.

**Key words:** Efficiency, Water Resources System, water-energy-food nexus, Utility Criterion.

## Índice Geral

1.Introdução	1
2.Objectivos	3
3. Revisão bibliográfica	4
3.1. Enquadramento do tema	4
3.2.As alterações climáticas e a gestão dos recursos hídricos	7
3.3.Menos com mais	8
3.4.Contabilização da água e respetivos conceitos	11
3.5.Indicadores de eficiência clássicos vs indicadores compostos	14
4.Caracterização do local de estudo	16
4.1.Caracterização da bacia hidrográfica do Douro	16
4.2.O Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro	17
4.3.Caracterização do Concelho de Pinhel e das freguesias de Valbom e Souropires	18
5. Metodologia	25
5.1.O conceito Sefficiency e a relação com o nexo <i>water-energy-food</i>	31
5.2. Passos do método	33
6.Aplicação de método Sefficiency ao caso de estudo	35
6.1. Precipitação	35
6.2. Água captada apartir da fonte principal	36
6.3. Volume de água a montante e jusante da fonte principal (Vu e Vd)	38
6.4. Evapotranspiração	38
6.5. Outras fontes	53
6.6. Escorrências	54
7. Análise de resultados e discussões	56
8. Proposição de mediadas corretivas	68
8.1. Controlo dos escoamentos e melhorar a retenção de água nos solos	68
8.1.1.Enriquecimento do solo em matéria orgânica	68
8.1.2. Fertilizações racionais das culturas	69

8.1.3. Racionalizar as mobilizações de solos	69
8.1.4. Cuidados a ter no cultivo em terrenos declivosos	70
8.2.Redução do consumo de energia nas captações	70
8.3. Introdução de novas culturas ou substituição das produções existente	71
9. Conclusão	73
9.1. Considerações finais	73
9.2 Recomendações de futuros estudos	77
10.Bibliografia	79
Anexo I: Inquérito aos agricultores	83
Anexo II: Tabelas do coeficiente cultural	86



## Índice de Figuras

Figura 1- Fluxos de água predominantes em sistemas de rega	12
Figura 2- Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do Douro	17
Figura 3- Mapa do distrito da Guarda e dos respetivos concelhos	19
Figura 4- Mapa das freguesias do concelho de Pinhel	20
Figura 5 - Ribeira do Porquinho na freguesia de Valbom (periferia)	21
Figura 6- Ribeira do Porquinho no centro da freguesia de Valbom	21
Figura 7- Exemplo de cultivo de hortícolas nas freguesias de estudo	23
Figura 8- Exemplo de cultivo de vinha nas freguesias de estudo	23
Figura 9 - Diagrama de um SHR típico	26
Figura 10- Exemplo de evolução de $K_c$ ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura	40
Figura 11- Relação $V_a$ - $E_n$ para o sistema Souropires	47
Figura 12- Relação $V_a$ - $E_n$ para o sistema Valbom	48
Figura 13- Relação $V_a$ - $E_n$ para o sistema resultante da fusão dos dois sistemas	48
Figura 14- Relação $E_n$ - $E_{nn}$ para o sistema Souropires	51
Figura 15- Relação $E_n$ - $E_{nn}$ para o sistema Valbom	51
Figura 16- Relação $E_n$ - $E_{nn}$ para o sistema S + V	52
Figura 17- Quadro comparativo dos valores de Sefficiency	56
Figura 18- Relação entre os possíveis caminhos dos dois sistemas em análise	58
Figura 19- Relação volume de água captada consumos de energia, depois de reduzido consumo de alguns elementos da amostra inicial	64
Figura 20- Relação $E_n$ - $E_{nn}$ depois de reduzido o consumo de alguns elementos da amostra inicial	65

## Índice de Tabelas

Tabela 1- Evolução da população das freguesias de Valbom e Souropires, entre 1960 2011	22
Tabela 2- Área ocupada por cada cultura nas freguesias de Souropires e Valbom	24
Tabela 3- Variáveis do balanço hídrico num SHR e suas definições	26
Tabela 4- Combinação de tipos de fluxos básicos de água aplicando critérios de uso	27
Tabela 5- Exemplos de usos benéficos e não benéficos de água num SHR	28
Tabela 6- Valores de precipitação recolhidos na estação meteorológica de Pinhel	36
Tabela 7- Valores relativos à qualidade de águas subterrâneas no poço de Pala	37
Tabela 8 - Etc do Sistema Souropires	41
Tabela 9- Etc do Sistema Valbom	42
Tabela 10- Etc resultante da junção dos dois sistemas (S + V)	42
Tabela 11- Input e valores de energia equivalente para diversas atividades agrícolas	44
Tabela 12- Gastos energéticos dos inquiridos em função do volume de água captado	46
Tabela 13- Quadro resumo das equações e correspondentes valores $W_{be_{ti}}$ e $Enn$	52
Tabela 14- Classificação da qualidade da água e atribuição de pesos	53
Tabela 15- Quadro-resumo dos valores do sistema Souropires	54
Tabela 16- Quadro-resumo dos valores do sistema Valbom	55
Tabela 17- Quadro-resumo dos valores do sistema S + V	55
Tabela 18- Valores de <i>Sefficiency</i> para todos os sistemas	56
Tabela 19- Redução de $V_a$ no sistema Souropires	59
Tabela 20- Redução de $V_a$ e $O_s$ no sistema de Souropires	59
Tabela 21- Redução de $V_a$ no sistema Valbom	60
Tabela 22- Redução de $V_a$ e $O_s$ no sistema Valbom	61
Tabela 23- Cálculo de <i>Sefficiency</i> com $W_{bet}$ ajustado (apenas redução de $V_a$ )	62
Tabela 24- Cálculo de <i>Sefficiency</i> com $W_{bet}$ ajustado (apenas redução de $V_a$ e $O_s$ )	62
Tabela 25- Consumos dos elementos da amostra depois de alguns se lhe reduzir o respetivo consumo	64
Tabela 26- Calculo de Etc com introdução de 50 ha de amendoeiras	66
Tabela 27- Cálculo de <i>Sefficiency</i> com introdução da cultura de amendoeira	67

## **Abreviaturas e Símbolos**

3m's- Micro, meso e macro eficiência

APA- Agência Portuguesa do Ambiente

ARH- Administração de Região Hidrográfica

EN- Consumo de energia

ENN- Função normalizada de energia

ETc- Evapotranspiração de cultura

ha- Hectare

IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Km<sup>2</sup> - Quilometro quadrado

Kc- Coeficiente cultural

Kr- Coeficiente redutor

kWh- Kilowatt hora

Mj- Milijoules

m- Metro

mm- Milímetros

mo- Matéria orgânica

PBH- Plano de Bacia Hidrográfica

PBHRD- Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro

PNUEA- Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água

R- Escoamentos

Sc- Percentagem da superfície do solo coberta pelas copas de uma determinada cultura

SNIRH- Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos

SRH- Sistema de Recursos Hídricos

S + V- Junção dos sistemas Souopires e Valbom

WEF- Nexo água-energia-alimentos

## 1.Introdução

A água é um recurso finito e discutir os problemas que lhe são inerentes é algo que está na ordem do dia, quer pela sua relevância, como pela imprevisibilidade que acarreta. Este recurso natural que é a água, ao ser utilizado para o benefício do Homem, não deve comprometer as necessidades e salubridade dos ecossistemas. Uma utilização sustentável não é consentânea com o uso exaustivo dos recursos hídricos. O uso desregrado de uma fonte, mesmo que renovável, propicia o desperdício, a ineficácia e, fatalmente, o desperísimo, comprometendo os usos de gerações futuras (Agencia Portuguesa do Ambiente, 2012).

Infelizmente, cada vez mais tem-se vindo aumentar a procura de água. Como é algo tão importante para todos os seres vivos (não só para os seres humanos) e como é vital para o desenvolvimento socioeconómico de qualquer país e região, deve-se por isso promover o seu uso eficiente e racional. Quando o uso da água não é regulado nem controlado, criam-se desequilíbrios e são evidentes na perda de valores naturais como lençóis freáticos, zonas húmidas e deterioração dos ecossistemas marinhos e ribeirinhos.

As alterações climáticas devem piorar ainda mais esta situação. Enquanto que, em algumas zonas do mundo, a tendência é para que a quantidade total de precipitação aumente ou a sua distribuição esteja concentrada em determinados períodos do ano, em outras está previsto que se agravem situações de seca e aumente a sua temperatura. Estas situações irão exacerbar a escassez de água: redução das chuvas significa fluxos menor nos rios; temperaturas mais elevadas significam maior evaporação e maior consumo de água por parte da vegetação natural e maior procura de água para usos agrícolas. As alterações climáticas podem mesmo levar a que se geram tensões sociais nas regiões afetadas, pois pequenas comunidades estão em muito dependentes das condições gerais do clima. Isto pode levar a que os seus rendimentos sejam postos em causas e quando isto acontece, focos de tensão e conflito podem ser evidentes, podendo gerar conflitos, em casos extremos (Perry *et al*, 2009).

É por isso necessário criar ferramentas de gestão dos recursos hídricos de forma a não se por em causa a sustentabilidade destes meios, usos e funções futuras, criando padrões de eficiência exigentes e que permitam a todos os interessados (*stakeholders*) participar na gestão sustentável dos recursos hídricos. Estes instrumentos, mais à frente designados por

indicadores de eficiência compostos, permitirão dotar estes decisores de instrumentos que apoiem as suas decisões, na gestão dos recursos hídricos.

Este trabalho vai seguir a metodologia proposta pelos Doutores Naim Haie e Andrew Keller, denominada por *Sefficiency* (termo anglo-saxónico resultante da fusão das palavras *sustainable* e *efficiency*) de forma a poder desenvolver indicadores de eficiência para apurar o nível de eficiência dos recursos hídricos. Estes indicadores de eficiência baseiam-se no princípio de conservação de massa e no ciclo hidrológico, permitindo diferentes escalas de análise (por exemplo, nível de bacia, sub-bacia cidade ou propriedade agrícola) e a sua aplicação é universal, para qualquer sistema hídrico, pois pode ser aplicado em diversas áreas e sectores (agricultura, indústria, redes públicas de abastecimento de água...).

Nos próximos capítulos será desenvolvido este tema com mais detalhe, explicando a sua origem, explicando a sua aplicação a um caso prático.

## 2.Objectivos

Pretende-se, com este trabalho, desenvolver uma dissertação do curso mestrado de Engenharia Urbana, ministrada na Escola de Engenharia da Universidade do Minho, em Portugal.

O objetivo fundamental deste trabalho será explorar metodologias que promovam o uso eficiente e sustentável dos recursos hídricos, evitando ou minorando os efeitos da sua escassez. Ao longo deste trabalho serão aplicados indicadores compostos de medição desenvolvidos anteriormente por Haie e Keller (2012) e depois por Haie (2016), de forma a aferir o desempenho de sistemas de recursos hídricos (SRH), calcular esses indicadores de eficiência e dotar os decisores dos elementos necessários para decidir os melhores usos desses recursos.

Este estudo será desenvolvido nas freguesias de Valbom e Souropires, no concelho de Pinhel, localizadas no distrito da Guarda. Pretendeu-se numa região rural, do interior português, deficitária do ponto de vista económica, analisar a gestão de sistemas hídricos, nestas zonas agrícolas e avaliar o seu desempenho. Para além de analisar a eficiência de cada um destes SRH, pretende-se ainda avaliar como um sistema mais a montante pode influenciar um outro sistema mais a jusante.

Este trabalho vai-se concentrar nos usos da água para fins agrícolas. Numa primeira fase, vai-se contabilizar as saídas e entradas de água. De seguida, desenvolver coeficientes que avaliam o uso dos recursos hídricos no sistema de estudo. Por fim, calcular-se-á a eficiência do sistema, propondo possíveis alterações, de forma a melhorar o mesmo.

Como referido, para proceder ao cálculo da eficiência, será ainda necessário estudar determinados coeficientes que façam a avaliação da qualidade e do benefício da água para os usos em questão (por exemplo, a medição da poluição da água, o método de rega, a salinidade do solo, entre outros), pois serão determinantes para perceber como a gestão dos sistemas hídricos poderão, ou não, prejudicar o meio em geral.

### **3. Revisão bibliográfica**

#### **3.1. Enquadramento do tema**

A água é um recurso essencial, necessário para sustento da vida porque assegura uma série de serviços imprescindíveis para atender às necessidades humanas básicas (alimentação, fornecimento de água potável ou produção de energia). A água é a força vital de nosso planeta e das sociedades humanas. Mas é frequentemente tomada como garantida, inesgotável e permanente. O Ser humano tem agido de forma inconsciência, sem assumir as suas responsabilidades nem as consequências dos seus atos. O florescimento desta cultura leviana tem que acabar.

Haie (2016), citando o Relatório Brundtland das Nações Unidas (1987) define desenvolvimento sustentado como aquele modelo de desenvolvimento económico que é capaz de responder às necessidades do presente sem por em causa a capacidade de crescimento das gerações futuras, assentando em três pilares fundamentais: económica, sociedade e ecologia. Se algum destes cai, este «edifício» desmoronar-se-á. Este autor defende ainda que a prosperidade da Humanidade e a conservação da Natureza devem ser um objetivo do desenvolvimento.

O desafio para os governantes e decisores deste século será colocar a água no centro da tomada de decisões em todos os níveis - horizontalmente entre departamentos e setores, e verticalmente em escalas locais, nacionais, regionais e globais. Dois pré-requisitos são essenciais para que isso aconteça:

Em primeiro lugar, deve ser entendido que a água é um recurso natural do qual dependem todas as atividades sociais, económicas e ecológicas e que influencia todos os aspetos da vida. Entender os múltiplos aspetos e papéis da água e sua complexidade é crucial para governá-la e geri-la eficazmente. Em segundo lugar, é necessário perceber que a água não é assunto local, regional, nacional ou transnacional. Decisões locais têm implicações globais, por vezes com efeitos imprevisíveis. Não podem os recursos hídricos serem geridos, em qualquer um destes níveis, de uma forma isolada. É mais útil reconhecer estas interdependências e compartilhar conhecimentos, avançando para uma gestão mais robusta dos recursos hídricos (Haie e Keller, 2012 e Haie, 2016).

Conforme afirmações do United Nations Environmental Program (2012) as alterações climáticas podem agravar esta situação por aumentar os problemas relacionados com escassez de água e respetivo acesso. As atividades económicas «utilizadoras de água» (a agricultura, a indústria ou os consumos urbanos, por exemplo) vão competir entre elas para a sua disponibilidade. Assim, a distribuição de água para estes usuários e setores concorrentes, mas altamente interdependentes, influenciará fortemente a sustentabilidade do crescimento económico e a distribuição da riqueza e bem-estar entre as sociedades e gerações futuras. Para manter a sustentabilidade da distribuição da água, será necessário re-definir conceitos e estratégias sobre os usos da água e mesma sobre a sua distribuição.

Tuqan (2015), citando Pahl-Wostl, *et al.* (2008) afirma que é dever dos gestores de recursos hídricos promover uma mudança no respetivo sistema de gestão, sendo que esta mudança deva incentivar a participação de todas as partes interessadas (agricultores, industriais, poderes públicos), contribuindo também para um sistema de gestão descentralizada, dando mais atenção aos aspetos sociais e considerando as questões ambientais como prioritárias.

Apartir daqui todas as partes interessadas serão designadas por *stakeholders*. Esta termo diz respeito aos intervenientes em qualquer sistema de governança, seja de uma empresa, organização ou instituição governamental e têm poder de decisão na respetiva gestão, ou seja, pessoas e organismos com responsabilidade e interesses na gestão de um determinado SRH.

Coloca-se aqui um desafio que é o de satisfazer essas necessidades da sociedade atual e suas perspetivas de evolução social e económica (crescimento populacional, desenvolvimento industrial) num cenário de progressiva escassez de água em quantidade e qualidade aceitáveis, protegendo os ecossistemas aquáticos.

Este desafio tem implicações na produção de alimentos, em segurança e na estabilidade social e política. Esta tarefa é de execução difícil, pois pressupõe uma mudança fundamental de atitude por parte da sociedade na forma como a água é utilizada, gerida e valorizada. Trata-se, afinal, da criação de uma nova cultura da água (Vieira, 2003).

A persecução destes objetivos não é fácil. Passar de palavrar aos atos é complicado, sendo ainda mais difícil em temas tão sensíveis como a gestão da água. Mas várias tentativas têm sido feitas, algumas das quais com resultados positivos. Muitos dos países do mundo (e



Portugal não é exceção) e organismos internacionais (como a União Europeia ou as Nações Unidas), não são alheios a esta questão e têm-se debruçado sobre a gestão eficiente da água. É urgente desenvolver estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos, que seja sustentável e que contribua para o desenvolvimento económico de uma região ou de um país.

Portugal lançou planos que seguem esta linha de pensamento, nomeadamente através da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, implementação 2012- 2020 (PNUEA). Este documento lançou algumas linhas orientadoras da estratégia nacional para o uso sustentado dos recursos hídricos. Algumas dessas ideias estão transcritas abaixo:

- «Melhorar a eficiência de utilização da água, sem pôr em causa as necessidades vitais e a qualidade de vida das populações, bem como o desenvolvimento do país, tendo como objetivos complementares a redução da poluição das massas de água e a redução do consumo de energia;
- Promover o uso eficiente da água em Portugal, contribuindo para a minimização dos riscos decorrentes da carência de água em situação hídrica normal, potenciada durante os períodos de seca;
- Contribuir para a consolidação de uma nova cultura da água em Portugal que valorize de forma crescente este recurso, atribuindo-lhe a importância devida no desenvolvimento humano e económico e contribuindo para a preservação do meio natural, numa ótica de desenvolvimento sustentável;
- Criar uma consciência nos cidadãos em geral e em particular nos gestores dos sistemas de abastecimento de água, quanto à importância do uso eficiente da água;
- Eliminar os desperdícios de água e reduzir a níveis aceitáveis as perdas de água nos sistemas, dando prioridade para os que são potencialmente mais significativos (sistemas de natureza pública e/ou coletiva)».

Daquilo que foi dito nesta secção conclui-se facilmente que as preocupações da escassez dos recursos hídricos e a necessidade de um desenvolvimento mais sustentado para uma nova visão da sua gestão. Esta abordagem, que se pode mesmo chamar de holística, caso

não se leve a sério e empenho, pode levar a situações irreversíveis de manutenção da salubridade destes sistemas ambientais.

### **3.2.As alterações climáticas e a gestão dos recursos hídricos**

A questão das alterações climáticas é um assunto delicado e que está na ordem do dia. Grupos de académicos e de científicos reconhecem que esta é uma das maiores ameaças globais a humanidade vai sentir nas próximas décadas (ameaças ambientais, sociais e económicas) (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012). Podem ser motivos de disputas pelos recursos naturais e desencadear conflitos. Podem também desencadear doenças, algumas das quais, ainda sem cura. Mas mais importante é a incerteza gerada pela alteração deste painel climático.

O Painel Internacional sobre as Alterações Climáticas, um organismo das Nações Unidas, que junta milhares de peritos em clima de todo o mundo, prevê que a temperatura global média aumentará entre 1,8 e 4°C até 2100, a não ser que se tomem medidas para limitar as emissões dos gases de efeito de estufa. Pode não parecer muito, mas durante a última era Glaciar, há mais de 11500 anos, a temperatura média global era apenas 5°C mais baixa que a temperatura atual, e isto numa altura em que grande parte da Europa estava coberta por uma espessa camada de gelo (Comissão Europeia, 2011).

Nkhonjera (2017) citando Yilmaz e Yazicigil (2011) afirma que novo paradigma vai gerar nível de incerteza tal que ainda não se sabe como reagir. E em nenhum outro lugar, o impacto das mudanças climáticas será tão evidente como no setor de água. Este autor indica mesmo que estas alterações climáticas podem induzir mudanças tão profundas no ciclo hidrológico que o acesso a água potável seja bastante complicado. Estes efeitos tão adversos também se farão sentir ao nível da agricultura, uma vez que as mudanças climáticas terão um impacto profundo na produtividade das culturas e na economia local.

É necessário estudar e analisar os impactos das alterações climáticas. É por isso importante abordar as alterações climáticas nos processos de gestão dos sistemas de recursos hídricos, de forma a implementar abordagens objetivas, de forma a reduzir incertezas e ser mais fácil a adaptação a estas mudanças, nomeadamente no sector agrícola, pela profunda dependência que este tem com a água.

É urgente consciencializar a sociedade para este problema e criar uma abordagem científica que permita precaver situações geradas pelas alterações climáticas. A introdução destes indicadores de eficiências dos SRH poderá contribuir para perceber como os sistemas estão a reagir (como será demonstrado ao longo deste texto) e estudar possíveis melhorias.

### **3.3.Menos com mais**

As estratégias usadas para melhorar a eficiência na gestão dos recursos hídricos passam pela redução do consumo de água. Estes esforços são de louvar. Mas mais importante, e como diz Clemmens *et al* (2008) «muito [mais] importante é saber qual o objetivo [da redução do consumo de água] e o que acontece com a água de irrigação aplicada; ou seja, onde é que toda a água vai, em última instância?». Não basta reduzir a quantidade de água quantidade para melhorar a eficiência de um sistema de gestão recursos hídricos, nem desenvolver tecnologia que visa esse fim.

Daí a ideia de lançar um capítulo com este nome (menos com mais). Este termo foi lançado por Colley *et al* (2008), em trabalhos desenvolvidos na Califórnia, no Pacific Institute, instituição não governamental que se dedica a estudar o desenvolvimento sustentado, as alterações climáticas e proteção dos recursos hídricos. Esta instituição tem a particularidade de trabalhar com os stakeholders locais, de forma a encontrar solução práticas e exequíveis.

Este conceito «menos com mais» mostra que, em relação a esta questão do estudo dos recursos hídricos, aquilo que parece simples e obvio, às vezes, não é assim tão linear. A redução da quantidade de água captada, pode não corresponde à diminuição do consumo deste recurso.

Percebendo o ciclo hidrológico e a geologia de um local, torna mais fácil o entendimento de que a água infiltrada num dado ponto pode voltar a aparecer noutra local dessa mesma bacia ou em outra. Devido à complexidade e particularidade de cada SRH, é preciso perceber que cada caso é um caso e não se deve extrapolar para outros sistemas, mesmo que sejam similares.

Tomando como exemplo sistemas de poupança de água em autoclismos. Pode-se dizer que é benéfico ter um sistema deste tipo instalado em qualquer casa de banho doméstica porque reduz o consumo de água. Pensando então em todos os utentes de determinado sistema municipal ou intermunicipal de abastecimento e saneamento de águas que possuem este tipo de autoclismos, facilmente se entende que, a uma escala de bacia ou sub-bacia, a quantidade de água economizada por ser elevada.

Mas ao pensar-se numa escala diferente, por exemplo ao nível de uma bacia hidrográfica, muda-se completamente de perspetiva sobre a real diminuição de volume de água captada. É verdade que os utentes deste sistema, que possuem sistemas economizadores de água (por exemplo os autoclismos mencionados atrás), reduzem o seu consumo água. Mas também é verdade que quase toda esta água destinadas a estes consumos domésticos, depois de tratada, vai-se juntar de novo à água existente na bacia (que existe nas linhas de água) e poderá ter um novo uso. É que esta água, depois de usada, mesmo que possa estar um pouco mais degradada, mas não invalida o seu uso posterior (Clemmens *et al*, 2008).

Não é possível estabelecer uma relação direta de redução de volumes de água captados com sistemas mais eficientes. Menos evidente será pensar também que esta poupança de caudais leva a poupança de energia. Conforme Jackson *et al* (2010), em regiões onde a extração de água se fazia recorrendo a fontes superficiais, procedeu-se à substituição de sistemas de rega de superfície por sistema pressurizados ou gota-a-gota. Verificou-se, de facto, poupanças na quantidade de água usada, mas verificou-se aumento dos consumos energéticos, questionando-se assim se a economia obtida por via da poupança de água foi real pelo aumento do consumo energético.

Com estes exemplos pretende-se demonstrar que qualquer análise deste género tem que ser feita com muito cuidado, caso a caso e estudando sempre todos os prós e contras. Assim, o mais importante é perceber a globalidade do sistema, as interações globais e estudar várias escalas, em vez de se escolher opções pré-definidas (como escolher sistemas de rega que aparentemente economizam mais água ou energia).

É importante acreditar num novo paradigma em que em vez de se poupar água (reduzindo a sua extração), terá que se encontrar SRH's (no seu todo) mais eficientes. Perry *et al* (2009) e Clemmens *et al* (2008) argumentam que se considerar uma escala a nível de bacia, o uso da água na agricultura pode ser quase 100% eficaz (falando em termos

teóricos), porque toda a água aplicada é utilizada pela planta, poderá regressar para a sua fonte através de fluxos de retorno, poderá ainda ser usada por outro agricultor ou destinar-se a outro fim (indústria, a título de exemplo) que esteja mais a jusante. Aliás, grande parte desta fundamentação será o base deste trabalho, como se irá demonstrar.

Por isso, será fundamental pensar não só na economização dos volumes de água captadas como pensar nas saídas e entradas de água de um SRH. É que a forma como estes *outflows* e *inflows* estão estruturados, podem ter implicações importantes para a salinidade do solo, a qualidade da água, a quantidade de água e para os caudais ecológicos, uso de energia e a necessidade de construir novas infra-estruturas.

- Salinidade: Água de irrigação contém sais e a rega excessiva pode aumentar o nível de salinidade dos solos. Mais grave é pensar a nível de percolação e dos escoamentos superficiais e implicações que poderá nos usuários a jusante.

- Qualidade da água: Escoamento que ocorre diretamente em terras agrícolas contém, muitas vezes, pesticidas, fertilizantes, sais, e sedimentos finos de erosão superficial. Estes poluentes podem contaminar fontes superficiais e subterrâneas, aumentando os custos do tratamento desta para os utilizadores a jusante. Reduzir a rega excessiva vai reduzir estes escoamentos, minimizando os efeitos descritos atrás.

- Quantidade de água e fluxos ecológicos: A extração de água (pelo excesso de água de rega que se sentiu a montante de uma determinada linha de água), abaixo do caudal ecológico, leva a alterações dos habitats dos ecossistemas das linhas de água, podendo levar a perda de biodiversidade destes locais.

- Uso de energia: A extração de água tem custos muito elevados. Minorar as regas leva reduções muito grandes nos gastos energéticos de uma comunidade e reduzir os níveis de gases de efeitos de estufa. Para além de que, estruturas de produção de energia (como por exemplo barragens, parques eólicos ou centrais térmicas) são muito dispendiosas (tanto os custos de instalação como de exploração), pelo que assim também se está a minorar estes impactes económicos.

- Construção de novas infraestruturas: Pelo que foi dito no ponto anterior, as instalações que permitam a captação, tratamento e distribuição de água são muito caras, pelo que a redução nos volumes de rega é recomendável (Cooley *et al*, 2008).

De uma forma geral, o mais importante é, citando Perry *et al*, (2009) «seguir a água» de forma a compreender de uma forma global quais os melhores usos. Estes autores afirmam que as mudanças tecnológicas podem não ser suficiente para promover uma verdadeira poupança de água. Isto porque a água «poupada» pode não estar disponível para os utentes mais a jusante (aqui surge a importância de uma análise a varias escalas).

As abordagens hidrológicas e de engenharia são importantes para perceber os diferentes fluxos de água e compreender qualquer sistema de rega e sua gestão. No entanto, para compreender e interpretar os impactos das mudanças na gestão da água, a análise deve estar em conformidade com a lei de conservação de massa, onde a água não é criada nem destruída, mas apenas armazenada ou transferida. As chamadas, «perdas de água» ao nível de cultivos individualizados ou em pequenos projetos de rega podem não ser «perdas» no sistema hidrológico porque, de acordo com a lei de conservação da massa, esta água «perdida» pode estar disponível para uso em algum outro ponto da bacia, ou ser importante para recarga de aquíferos.

### **3.4.Contabilização da água e respetivos conceitos**

Antes da aplicação de *Sefficiency*, é importante clarificar alguma da terminologia básica relativa ao funcionamento dos SRH. Como já se fez referência atrás, *Sefficiency* tem como base o ciclo hidrológico e a lei universal de conservação de massa. Só percebendo estes conceitos é que se poderá compreender aquilo que está jogo. Este capítulo foi chamado de contabilização da água porque a base do sucesso da aplicação deste método passa por contabilizar com a máxima fiabilidade as entradas e saídas de água nos SRH (mais à frente chamados de *inflows* e *outflows*). Assim, principal objetivo da «contabilidade água» é apresentar conceitos que sejam universalmente aplicáveis para avaliar a gestão dos recursos hídricos e desenvolver uma linguagem comum e genérica para os gestores dos SRH.

Pensando numa hipotética gota de água, ao chegar a um SRH, pode tomar vários caminhos, conforme exemplo seguinte:

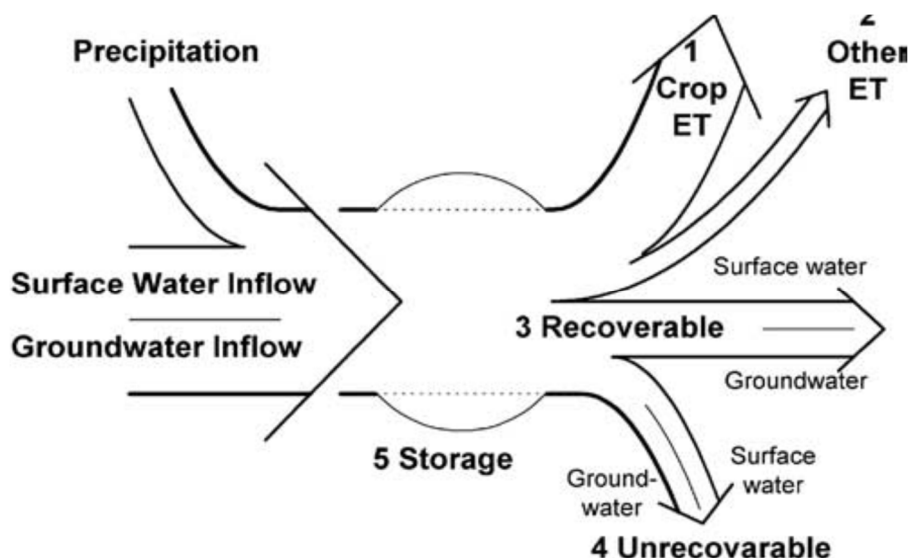


Figura 1- Fluxos de água predominantes em sistemas de rega

Fonte: Clemmens *et al*, 2008

Perry *et al* (2009) definiram uma terminologia que é fundamental entender os seus conceitos, que a seguir se descreve:

Uso da água: qualquer uso deliberado de água para um propósito específico. O termo não distingue entre usos que removam a água do uso posterior (evaporação, transpiração, infiltração...) e usos que têm pouco impacto na disponibilidade de água (navegação, uso doméstico). O uso da água divide-se em:

Fração consumida que compreende:

- a) Consumo benéfico: Água utilizada para o fim pretendido - por exemplo, evaporação de uma torre de refrigeração ou transpiração de uma cultura irrigada.
- b) Consumo não benéfico: Água evaporada ou transpirada para fins diferentes do uso pretendido - por exemplo evaporação de superfícies de água, vegetação ripícola ou não desejada, solo húmido.

Fração não consumida que compreende:

a) Fração recuperável: água que pode ser capturada e reutilizada - por exemplo, escoamentos que retornam ao sistema fluvial e percolação em campos irrigados que vão para os aquíferos ou água encaminhada para esgotos que ao ser tratada, poderá regressar ao sistema fluvial ou usada para outros fins (rega, por exemplo).

b) Fração não recuperável: água perdida para utilização posterior- por exemplo, fluxos para aquíferos salinos de águas subterrâneas, aquíferos que não são economicamente exploráveis ou fluem para o mar.

Depois de explicada a terminologia básica, facilmente se percebe o enfoque dos sistemas de gestão de recursos hídricos passa pela redução do componente consumptivo da água. No entanto, o consumo raramente é o foco de programas de conservação (Clemmens *et al*, 2008 citando Allen *et al*, 1996., 1997; Burt *et al*, 1997). Exemplo muito claro é que quanto mais poluídas estiverem as águas, depois de um determinado uso, mais comprometido estará o uso para os utilizadores a jusante.

De forma a tornar mais claro o que foi dito no paragrafo anterior e sendo um passo fundamental para perceber a metodologia aplicada, é obrigatório compreender que uso da água é diferente de consumo da água. O uso da água diz respeito à parcela de água que depois de captada regressa à sua fonte original, enquanto que consumo da água diz respeito à fração da água que depois de captada não regressa à fonte de origem.

Por exemplo, num uso doméstico qualquer, são captadas 100 unidades de águas para os fins mais diversos. Caso regressem 100 dessas unidades à fonte de origem, pode-se dizer que se usaram 100 unidades de água, mas foram consumidas 0 unidades. Pelo contrário, supõe-se que apenas regressaram 30 unidades à origem, diz-se que se usaram 100 unidades, mas foram consumidas 70 unidades. Pode-se assim falar de usos não consumptivos (primeiro caso) ou usos consumptivos dos recursos hídricos (segundo caso).

Esta abordagem toma ainda mais relevo quando se está a falar, por exemplo, da poluição dos recursos hídricos ou da sua salinização, pois estes usos, que contribuem para a sua degradação, invalidam o seu uso futuro, perdendo eficiência

A utilização dos termos propostos acrescenta clareza à análise da gestão dos recursos hídricos. Mais importante que economizar, será perceber a globalidade do ciclo hidrológico e perceber os caminhos da água (salientando de novo o conceito «seguir a



água»). Permite identificar quais os usos benéficos, afirma o que realmente interessa para a sociedade e clarifica a ideia que água consumida é diferente de água usada (Perry *et al*, 2009).

### **3.5. Indicadores de eficiência clássicos vs indicadores compostos**

Este capítulo pretende abordar questões relacionadas como os indicadores de medição da eficiência em recursos hídricos, qual a diferença entre os indicadores clássicos e os indicadores compostos e o porquê do seu uso em detrimento dos primeiros.

Estes indicadores de eficiência são cada vez mais importantes na gestão dos recursos hídricos. Possibilitam que se efetue uma análise aos SRH para aferir os melhores usos de água. Pela complexidade destes sistemas, os indicadores clássicos, revelaram-se inadequados para avaliar de uma forma correta a gestão desses sistemas.

Os chamados indicadores de eficiência clássicos indicam que eficiência corresponde a uma relação entre água consumida e água total captada e posteriormente fornecida para um determinado sistema. Esta consideração não pode estar mais incorreta porque considera apenas o uso consumptivo da água. Existe uma clara confusão entre o termo eficiência e o termo produtividade, o que induz, claramente a erros de avaliação dos sistemas. Esta expressão não considera a complexidade dos sistemas, nem todos os fluxos de água do sistema em jogo. A água não captada pode ser aproveitada por outros utilizadores mais a jusante ou mesmo integrar outro sistema hídrico, por força do ciclo hidrológico (Haie e Keller, 2012).

Ao não se ter em consideração o ciclo hidrológico de um sistema, desprezar os *inflows* e *outflows* ou ignorar o princípio de conservação de massa, está-se a por em causa as funções naturais dos ecossistemas. Muito menos se considera o gasto energético de cada um destes caminhos, nem o seu estado geral de contaminação ou a respetiva utilidade (se a água é encaminhada para o fim para que foi concebida ou não). A eficiência clássica subestima a verdadeira eficiência dos sistemas de irrigação existentes ao não considerar diversos tipos de problemas como a possível reutilização da água, a diferença entre o uso e consumo de água e desprezar o grau de contaminação dos recursos hídricos. Foi necessário criar indicadores que tomassem em consideração estes aspetos, pondo em evidência as interações económicas e ecológicas.

Foram propostos por Haie e Keller, no ano de 2012, os indicadores de eficiência compostos, macro, meso e micro eficiência, que sistematizados de acordo com a lei geral da conservação de massa que considera no seu cálculo a quantidade e a qualidade da água, uso benéfico e planeamento multi-nível, o interesse local e dos *stakeholders*, pretendendo ser também perfeitamente adaptável às possíveis mudanças induzidas pelas alterações climáticas e poder responder a essas mudanças (Ahmad *et al*, 2017).

Mais tarde, Haie (2013) e Haie & Keller (2014) utilizaram o termo *Sefficiency* para se referir aos indicadores de performance da água em três níveis. Todas estes conceitos serão abordados de seguidas com mais pormenor.

## **4.Caracterização do local de estudo**

### **4.1.Caracterização da bacia hidrográfica do Douro**

A Região Hidrográfica do Douro é uma região hidrográfica internacional com uma área total em território nacional de 19 218 km<sup>2</sup>. A gestão dos recursos hídricos, incluindo o respetivo planeamento, licenciamento, monitorização e fiscalização ao nível da região hidrográfica, cabe à Administração da Região Hidrográfica do Norte (ARH do Norte), sendo este um organismo dependente da Agência Portuguesa do Ambiente.

O rio Douro nasce na serra de Urbion (Cordilheira Ibérica), a cerca de 1 700 m de altitude. Ao longo do seu curso de 927 km (o terceiro maior entre os rios da Península Ibérica, depois do Tejo e do Ebro) até à foz no Oceano Atlântico, junto à cidade do Porto, atravessa o território espanhol numa extensão de 597 km e serve de fronteira ao longo de 122 km, sendo os últimos 208 km percorridos em Portugal.

A bacia hidrográfica do rio Douro tem uma área total de 97 477,66 km<sup>2</sup>, dos quais 18 587,85 km<sup>2</sup> em Portugal (19,07%) e 78 889,0 km<sup>2</sup> em Espanha (80,93%), ocupando o primeiro lugar em área entre as bacias dos maiores rios peninsulares (superior à do Ebro e à do Tejo). A parte portuguesa ocupa também o primeiro lugar em dimensão entre as bacias dos rios nacionais ou internacionais que atravessam o território nacional. A bacia é limitada a Norte pelas bacias hidrográficas dos rios Leça, Ave, Cávado, Nalón, Sella, Deva e Nansa, a Leste pela bacia hidrográfica do rio Ebro e a Sul pelas bacias dos rios Tejo, Mondego e Vouga.

No que diz respeito à sua rede hidrográfica, dado o deslocamento do curso do rio Douro para sul do «eixo» da bacia, os principais afluentes da margem direita tendem a ser maiores que os da margem esquerda. Todos eles nascem nos sistemas montanhosos que circundam a bacia e os seus percursos até ao Douro desenvolvem-se, genericamente, nos sentidos Nordeste-Sudoeste em relação aos afluentes da margem direita e Sudeste-Noroeste em relação aos da margem esquerda. De entre os primeiros destacam-se, de montante para jusante: em Espanha, o Pisuerga, o Valderaduey e o Esla; em Portugal, o Sabor, o Tua e o Tâmega. Na margem esquerda são de realçar, também de montante para jusante: em Espanha, o Adaja, o Tormes, o Huebra e o Águeda, (este último serve de fronteira no seu curso inferior e os dois anteriores confluem com o Douro no troço

internacional); em Portugal, realçam-se os rios Côa Sub bacia que pertence este estudo) e Paiva (Agencia Portuguesa do ambiente, 2016).

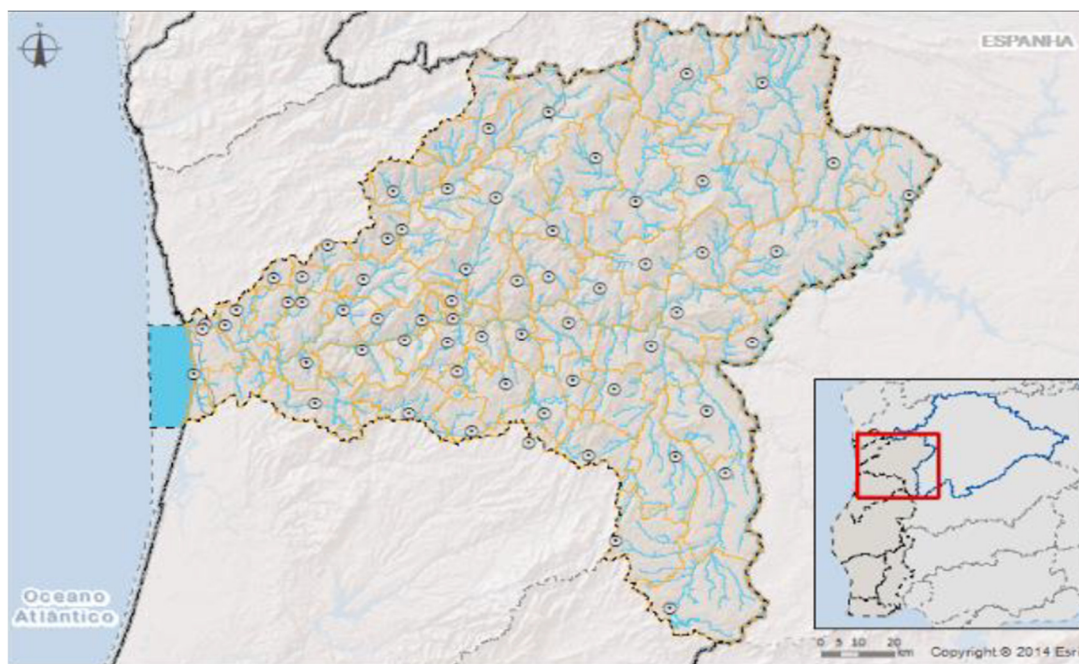


Figura 2- Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do Douro

Fonte: Agencia Portuguesa do Ambiente, 2016

## 4.2. O Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro

No âmbito da reforma administrativa tutelar dos recursos hídricos, instituído pelo Decreto-Lei 76/2016 de 9 de novembro, ficou decidido a criação de Planos de Bacia Hidrográfica (PBH). Para garantir a administração da Bacia Hidrográfica do Rio Douro, foi delineado o respetivo plano, denominado Plano de Bacia Hidrografia do Rio Douro (PBHRD), já que a região de estudo se encontra dentro da bacia deste rio.

Este texto é muito importante para definir uma forma de gestão integrada dos recursos hídricos da região, criando um modelo de planeamento e regularização deste recurso. O PBHD, constitui um elemento enquadrador, estratégico e programático do desenvolvimento do processo de planeamento de recursos hídricos desta bacia. Tem como grandes objetivos:

- Melhorar o conhecimento da situação existente na bacia hidrográfica, no âmbito dos subsistemas que a constituem;

- Identificar os problemas existentes e antecipação da ocorrência e resolução de problemas potenciais;
- Definição das linhas estratégicas da gestão dos recursos hídricos, enquadradoras de um conjunto de objetivos estratégicos e operacionais e de estratégias específicas para o seu alcance, por forma a proporcionar uma gestão coerente em detrimento de uma gestão casuística;
- Implementação de um sistema de gestão integrada dos recursos hídricos (Instituto da Água, 2001).

#### **4.3.Caracterização do Concelho de Pinhel e das freguesias de Valbom e Souropires**

O estudo do qual visa esta dissertação, situa-se nas freguesias de Valbom e Souropires, ambas localizadas no concelho de Pinhel. Este município situa-se na da Beira Alta, mais propriamente no distrito da Guarda.

Este trabalho visou uma região da Beira Interior por várias razões. Em primeiro lugar, é do conhecimento geral que todas as regiões do interior português são economicamente deficitárias, sofrendo bastante com o envelhecimento das populações. Por outro lado, ainda se pratica uma agricultura de subsistência em solos, na maioria dos casos, pobres em matéria orgânica e nutrientes. Para agravar a situação, fruto principalmente das alterações climáticas, tem se verificado nestas regiões, por um lado, aumento geral das temperaturas e, por outro, escassez de água, por via das alterações dos regimes hidrológicos (em particular em anos sucessivos de secas). Será, portanto, interessante perceber se parte dos problemas e carências económicas das regiões do interior poderão estar relacionados com estes problemas ambientais e de que forma se poderá contribuir para a superação destes problemas.

O concelho de Pinhel tem uma área de aproximadamente 482 Km<sup>2</sup>. Integra uma zona de planalto que se estende para norte da Guarda. O território do concelho de Pinhel, com uma altitude média de 300m, é atravessado por inúmeros cursos de água que correm para norte em direção ao rio Douro. Confina, a Sul, com o concelho da Guarda, a Nordeste, com Figueira de Castelo Rodrigo, a Sudeste, com Almeida, a Noroeste com o concelho

da Meda e a Oeste com Trancoso e Celorico da Beira e a Norte confina com o Concelho de Vila Nova de Foz Côa. O Concelho tem como principais referentes hidrográficos os rios Côa e Massueime e as ribeiras das Cabras e da Pega.



Figura 3- Mapa do distrito da Guarda e dos respetivos concelhos

Fonte: Mapas do Mundo, (S/D)

Como se disse, este estudo centrou-se em duas freguesias deste concelho: Souropires e Valbom. A primeira tem 16,19 km<sup>2</sup> e a segunda tem uma área de 14,76 km<sup>2</sup>. Segundo os Censos 2011, Souropires tem 588 habitantes e Valbom 214. As duas freguesias são vizinhas, distando poucos quilómetros da sede de concelho dando-lhe uma característica especial de freguesias rurais e de aldeia dormitório da cidade de Pinhel e até mesmo da cidade da Guarda, a capital do distrito.



Figura 4- Mapa das freguesias do concelho de Pinhel

Fonte: Câmara Municipal de Pinhel, 2007

A principal linha de água que atravessa as duas freguesias é a Ribeira do Porquinho (esta atravessa o centro da localidade de Valbom), afluente do Rio Massueime, um dos afluentes principais do Rio Côa. Esta ribeira é muito importante para as duas freguesias pois algumas atividades económicas dependem dela. Alguma da água de rega é originária desta ribeira. Importante salientar que é para esta linha de água é encaminhada os possíveis escoamentos superficiais provenientes dessas mesmas águas de regas.





Figura 5 - Ribeira do Porquinho na freguesia de Valbom (periferia)



Figura 6- Ribeira do Porquinho no centro da freguesia de Valbom

Uma primeira análise sobre as dinâmicas demográficas no Concelho de Pinhel desde a segunda metade do século XX põe em evidência a tendência acentuada para perda de população no concelho. Verificou-se entre 1971 e 1981 uma estagnação da população residente, mas a tendência para decréscimo é retomada logo na década seguinte. Em termos de variação absoluta num período de quatro décadas, o concelho de Pinhel perdeu um total de 9.339 indivíduos, o que corresponde a uma taxa de variação negativa de 46%.



Nas duas freguesias de estudo, Souropires perdeu cerca de 35% dos seus efetivos e Valbom quase 60%.

Tabela 1- Evolução da população das freguesias de Valbom e Souropires, entre 1960 e 2011

	Ano	Souropires	Valbom
População residente (N)	1960	910	521
	1970	735	375
	1981	751	461
	1991	715	375
	2001	584	298
	2011	588	214
Saldo da População (N)	60/70	- 175	- 146
	70/81	16	86
	81/91	- 36	- 86
	91/01	- 121	- 77
	01/11	4	84
	60/11	- 322	- 307
Taxa de Variação (%)	60/70	- 19,2	- 28,0
	70/81	2,2	22,9
	81/91	- 4,8	- 18,7
	91/01	- 16,9	- 20,5
	01/11	1,0	-28,1
	60/11	- 34,7	- 58,9

Fonte. Câmara Municipal de Pinhel, 2007

Conforme Marta (1990), os solos da região são de origem granítica, com uma textura de vai do argilo-arenoso ao franco arenoso. Estes solos são ricos em potássio, pobres em cal e ácido fosfórico, o que os torna indicados para o cultivo da vinha. Aliás, a vinha constitui uma das marcas mais representativas deste concelho. Esta cultura, juntamente com o olival, constitui a principal atividade agrícola, não só do concelho, como das freguesias de estudo. Este autor indica mesmo que o vinho é a maior riqueza do concelho (10% do território total do concelho está ocupada com vinha).

Tem se verificado tendência para o aumento da área cultivada de olival, fruto da instalação na região de alguns lagares de azeite e também porque se verificou nos últimos anos, por parte da Comissão Europeia, aumento dos apoios comunitários a este cultivo. No entanto, o seu cultivo sempre esteve presente na região.

Outra atividade importante é a pastorícia e a criação de gado, pois os solos ocupados por pastagens também são expressivos. De destacar ainda o cultivo de batata e hortícolas em pequenas propriedades (até 3 ha).



Figura 7- Exemplo de cultivo de hortícolas nas freguesias de estudo



Figura 8- Exemplo de cultivo de vinha nas freguesias de estudo

Atualmente, verifica-se uma tendência para o aumento do cultivo de frutos secos no concelho, nomeadamente amendoeirais, fruto de instalação de empresas de recolha, tratamento e distribuição destes frutos e também pelo grande apoio a nível de fundos comunitários, para este cultivo. Mas quando da realização deste estudo, verificou-se ser quase insignificante a sua presença nestas duas freguesias. Mas será importante fazer uma ressalva a este aspeto, pois é possível que, num futuro próximo, os agricultores das duas freguesias ponderem a implantação deste cultivo. Em outras freguesias do concelho já se verifica a expansão desta cultura (Camara Municipal de Pinhel, 2007).

O sector primário é muito importante para a economia do Concelho de Pinhel e das freguesias de Souropires e Valbom. Em 2001, quase 20% da população empregada no concelho trabalhava neste sector de atividade. Esta importância relativa fica também patente quando se compara o Concelho de Pinhel com a Beira Interior Norte (12,3%) ou com a Região Centro (6,7%). Em 1999, de acordo com o Recenseamento Geral da Agricultura, existiam no Concelho de Pinhel 3.143 explorações, ocupando uma área de 28.492 ha (cerca de 59% do total da área do concelho), dos quais 84,6% correspondiam a superfície agrícola utilizada e 8,9% a matas e florestas sem cultura sob coberto. 9% das empresas sediadas no concelho estão relacionadas com a agricultura. Daqui destacar alguns dos clientes dos agricultores que foram alvo estudo, como a Adega Cooperativa de Pinhel, matadouros os locais e lagares de azeite, que são grandes impulsionadores da economia local (Câmara Municipal de Pinhel, 2007).

Daqui, fica patente a importância do sector primário neste território, pelo que o estudo destes indicadores de eficiência, avaliando a eficiência do uso da água, em zonas eminentemente agrícolas, se reverte fundamental para a revitalização económica desta região, podendo ser a agricultura sustentada e hidricamente eficiente um dos seus principais motores.

Falando agora das freguesias de estudo, apresenta a seguinte ocupação do solo, conforme a consulta da carta de ocupação de solos. O valor da tabela abaixo refere-se à área ocupada pela cultura respetiva:

Tabela 2- Área ocupada por cada cultura nas freguesias de Souropires e Valbom

CULTURA	SOUROPIRES (ha)	VALBOM (ha)
<b>Vinha</b>	600	487
<b>Olival</b>	195	221
<b>Floresta</b>	162	192
<b>Hortícolas e batata</b>	30	29
<b>Culturas anuais de sequeiro</b>	0	89
<b>Forragens e pastagens</b>	260	191
<b>Outras culturas</b>	16	21

Fonte: Camara Municipal de Pinhel, 2015

## 5. Metodologia

Para medir a performance deste sistema, foi proposto a utilização do método *Sefficiency* (Haie e Keller, 2014, Haie, 2016). Estes trabalhos aqui citados, abordam a escassez dos recursos dos recursos hídricos e a sua incerteza ao respetivo acesso. Por isso, o uso eficiente da água torna-se cada vez mais urgente. E é desta necessidade de se criar ferramentas para verificar a forma como estão a ser geridos os SHR é que surgem os indicadores de eficiência. Na hora de definir o caminho para encontrar a forma mais eficaz de gerir um sistema de recursos hídricos, a eficiência é uma das ferramentas mais uteis que podem quantificar esse desempenho, conforme Haie (2016), citando Stone (2002).

Este método (*Sefficiency*) terá como objetivo o desenvolvimento de indicadores de medição da performance da água, como três níveis distintos (micro, meso e macro eficiência), consoante a escala de análise de cada caso (bacia, sub-bacia, núcleo urbano, explorações agrícolas, unidade industrial, ...). Outra vantagem do emprego desta metodologia será a consideração de parâmetros energéticos (abordagem facultativa), onde se considera uma possível relação entre os recursos hídricos, energia e produção de alimentos. Esta questão será desenvolvida mais à frente.

Para calcular a eficiência de um SRH é necessário definir um SHR. Conhecidos os limites do SRH, procede-se à sua definição. Na Figura 9 apresenta-se o diagrama de um SRH típico:

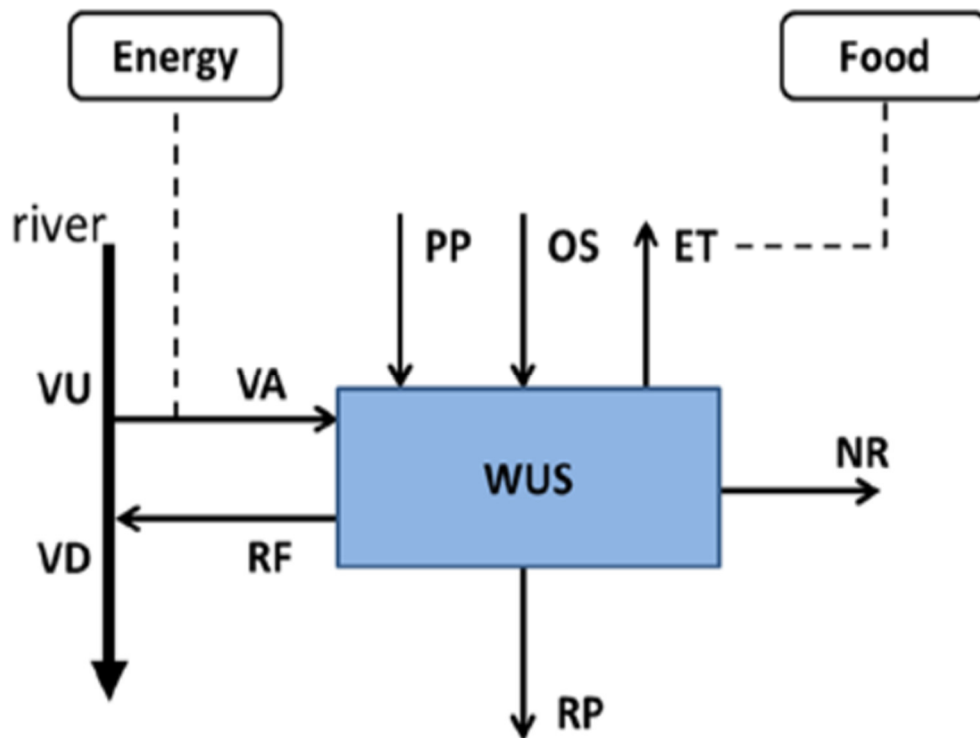


Figura 9 - Diagrama de um SHR típico

Fonte: Haie, 2016

Este esquema mostra os tipos de caminho de fluxo de água possíveis, tanto as entradas de água como as possíveis saídas. Na tabela seguinte apresenta-se as terminologias de cada um destes fluxos.

Tabela 3- Variáveis do balanço hídrico num SHR e suas definições

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
<b>Et</b>	Evapotranspiração
<b>Nr</b>	Água não reutilizável
<b>Os</b>	Água proveniente de outras fontes
<b>Pp</b>	Precipitação
<b>Rf</b>	Fluxos de retorno
<b>Rp</b>	Retorno potencial (não retorna à fonte principal)
<b>Va</b>	Água captada apartir da fonte principal
<b>Vd</b>	Volume de água a jusante depois de Rf na fonte principal
<b>Vu</b>	Volume de água a montante antes da captação na fonte principal

Fonte: Haie e Keller, 2012

Tabela 4- Combinação de tipos de fluxos básicos de água aplicando critérios de uso

SIMBOLO	EXPRESSÃO	DESCRIÇÃO
<b>I</b>	$Va + Os + Pp$	<i>Inflow</i>
<b>R</b>	$Rf + Rp$	Retorno
<b>C</b>	$Et + Nr$	Consumo
<b>O</b>	$C + R$	<i>Outflow</i>
<b>UI</b>	$I_s$	<i>Inflow</i> útil
<b>UR</b>	$R_s$	Retorno útil
<b>UC</b>	$C_s$	Consumo útil
<b>UO</b>	$O_s$	<i>Outflow</i> útil
<b>EC</b>	$(I - R)_s$	Consumo efetivo

Fonte: Haie, 2016

A Figura 9 apresenta todas as variáveis possíveis que entram no cálculo balanço hídrico. Como fluxos de entrada de água no SRH (durante este trabalho poderão ser designados por *inflows*), temos Vu ou Va, Pp e Os (a sua soma corresponde à entrada total). Como fluxos de saída de água do sistema (durante este trabalho poderão ser designados por *outflows*) temos Et, Nr, Rp e Rf ou Vd (a sua soma corresponde à saída total de água). De forma a respeitar o princípio de conservação de massa, os inflows e ou outflows terão que ser iguais a 0, ou seja:

$$total\ inflow - total\ outflow = \Delta \text{ ou} \quad (1)$$

$$(Va + Os + Pp) - (Et + Rp + Rf + Nr) = 0 \quad (2)$$

O balanço hídrico tem que estar definido para um período de tempo em que a mudança no armazenamento de água de um SHR,  $\Delta$ , pode-se assumir-se como 0. Este período pode ser anual, uma temporada, ou até mesmo um evento determinado como uma irrigação, dependendo daquilo que se pretende analisar. Neste caso de estudo, tomou-se o ano hidrológico que se iniciou a 1 de outubro de 2016 e finalizou a 31 de setembro de 2017.

Conforme Tuqan (2017), a definição eficiência clássica tem que ser atualizada, de forma a ser mais abrangente e adaptativa à realidade dos meios. Aquilo que diferencia *Sefficiency* da eficiência clássica é a introdução de uma dimensão benéfica (b) e de uma dimensão da qualidade (q), inerente a cada caminho de fluxo de água. O valor que traduz a qualidade e os benefícios de cada fluxo de água dos SRH, é medido por pesos, que são

como que uma espécie de coeficientes que afetam as variáveis dos SRH e que variam entre 0 e 1, onde 0 é o pior estado possível e 1 o estado ideal.

É importante notar que os pesos são determinados por critérios definidos pelos gestores dos recursos hídricos. Por exemplo, a dimensão da qualidade relaciona-se diretamente com o nível de contaminação da água e o sistema ambiental em que a água flui. Um peso benéfico é definido, por exemplo, de acordo com os objetivos do projeto e é também influenciada pelas partes interessadas e da sociedade (num sistema agrícola, as espécies infestantes podem ser consideradas essa parte não benéfica e as plantas produzidas constituem a parte benéfica). Na tabela seguinte são apresentados alguns exemplos de uso benéficos e usos não benéficos.

Tabela 5- Exemplos de usos benéficos e não benéficos de água num SHR

TIPO DE USO	Et	Nr	Rf + Rp
<b>Benéfico</b>	Biomassa destinada à produção agrícola	Recarga aquíferos	Recarga aquíferos
<b>Não Benéfico</b>	Infestantes	Intrusões salinas	Intrusões salinas
	Evaporação por excesso de humidade		Escoamentos superficiais passíveis de erodir o solo

Fonte: Haie & Keller, 2012

A forma de encontrar o valor útil de qualquer variável é multiplicar cada variável pelos pesos benéficos e de qualidade. Um peso de qualidade ( $W_{qX}$ , sendo X qualquer um dos fluxos de entrada ou saída de água, visíveis na figura 9) traduz um certo grau de contaminação da água, pois quanto mais poluídas estiverem as fontes de recursos hídricos, há perda de capacidade de uso parte dos usuários dos sistemas. Por outro lado, alguns dos fluxos podem ter uma componente benéfica ou uma componente não benéfica. O peso benéfico  $W_{bX}$  diz respeito à dita componente benéfica de X, o qual é definido pelos gestores, consultores e decisores e depende da intenção de uma determinada intervenção.

Estando estas dimensões definidas, então a parte útil do fluxo é definido por um índice «s» e chamado critério de utilidade, sendo o produto de ambas dimensões, conforme as equações:

$$Xq = Wqx * X \quad (3)$$

$$Xb = Wbx * X \quad (4)$$

$$Xs = Wqx * Wbx * X \quad (5)$$

Para além do mais, outra grande vantagem de *Sefficiency* é estarem preparados para efetuar o cálculo das eficiências com base em dois tipos de totais de água num SRH, que são a entrada total e o consumo total. Por isso é que na secção 3.4. se explicou a diferença entre estes dois conceitos.

De modo a incluir estes dois tipos de totais de água, na mesma equação, para cada indicador de eficiência composto, são usados dois índices, i e c, aos quais correspondem o valor de 0 ou 1, com  $i + c = 1$ . Quando  $i = 1$  e  $c = 0$ , permite calcular a eficiência com base na entrada total de água no sistema e quando  $i = 0$  e  $c = 1$ , permite calcular a eficiência com base no consumo total de água do sistema. *Sefficiency* será calculada considerando cada tipo de fluxo em separado de forma a realçar diferentes praticas de conservação: poupanças nas captações e poupanças nos consumos. Desta forma, é possível com apenas uma equação para cada indicador, calcular a eficiência para os diferentes tipos de totais.

Depois destas considerações, conforme Haie e Keller (2012), considera-se, por fim, um ratio entre os fluxos de saída e os fluxos das entradas uteis de água, chega-se assim às expressões finais de *Sefficiency*.

$$MacroEs = \left[ \frac{ET + NR + i (VD + RP)}{VU + OS + PP - c(VD + RP)} \right]^s \quad (6)$$

Sendo  $i, c = 0$  ou  $1$ ,  $c+i = 1$

$$MesoEs = \left[ \frac{ET + NR + i (RF + RP)}{VA + OS + PP - c(RF + RP)} \right]^s \quad (7)$$



$$MicroEs = \left[ \frac{(ET + NR)}{(VA + OS + PP)} \right]^s \quad (8)$$

- Macro-Eficiência: É usado para indicar o impacto de um SRH em uma bacia hidrográfica.
- Meso-Eficiência: É usada para análise sub-bacias ou indicar, por exemplo, o impacto de retorno financeiro gerado por um WRS ou quando o nível de análise não seja aplicada de grandes bacias
- Micro-Eficiência: É usado para pequenas unidades, como explorações agrícolas, agregados populacionais ou unidades fabris. Este indicador não leva em linha de conta os retornos de água.

O sufixo «s» indica que para cada variável já foi considerado o critério de utilidade.

Esta visão a vários níveis é importante, porque cada um deles poderá ter *stakeholders* diferentes: enquanto a macro eficiência é importante para a gestão da bacia de um rio e interessa aos organismos responsáveis por essa gestão (por exemplo ARH), a micro eficiência é importante para a gestão de uma cidade ou de uma exploração agrícola, enquanto a Meso-eficiência é importante para instituições, associações ou grupo de utentes dos recursos hídricos (por exemplo associações de regantes). Esta visão mais genérica, mas a várias escalas, permitir analisar de forma global os sistemas hídricos, pois uma opção que se prevê que seja benéfica a nível de micro-eficiência, pode ser nefasta a nível de meso ou macro-eficiência ou vice-versa. Assim, na posse de diversas ferramentas de apoio às decisões, com perspectivas diferenciadores, tomam-se decisões mais fundamentadas e que melhor se adaptam a casos concretos.

Importante diferenciar iMesoEs de cMesoEs. O primeiro mede a eficiência dos fluxos de entradas uteis, enquanto que o segundo considera a parte dos consumos efetivos das plantas, por exemplo. Falando em termos práticos, iMesoEs traduz a fração da água captada que é realmente usada pelo sistema e cMesoEs traduz a fração total de água que realmente é usada para os consumos do sistema, neste caso, a água que efetivamente contribui para o desenvolvimento e crescimento das plantas. O mesmo se poderá dizer quando se consideram as macro-eficiências.

De referir que um dos pontos mais importante para o sucesso deste método é assegurar que os caminhos definidos na tabela e representados na figura são explicitamente contabilizados. Apesar de se ter a noção da complexidade de qualquer dos sistemas, a não contabilização de um destes caminhos leva a erros na hora da verificação dos balanços hídricos, podendo a adulterar o resultado final. Mesmo que algum caminho não exista, o mesmo deve ser contabilizado como zero, justificando devidamente esse valor.

Por tais dificuldades, pode-se omitir o cálculo de macro-eficiência, como será o caso deste trabalho. Também referir que este valor não será ponderado porque o objetivo final não é medir a eficiência numa bacia ou sub-bacia.

### **5.1.O conceito *Sefficiency* e a relação com o nexo *water-energy-food***

*Sefficiency* é um método importante de análise de e para as políticas de gestão de sistemas de recursos hídricos, incluindo estes sistemas emaranhados. Integra explicitamente as dimensões ambientais, sociais e económicas dessas políticas, trazendo transparência a todo o processo, no desenvolvimento de melhores critérios de qualidade, definindo os usos benéficos e promovendo o envolvimento das partes, como aliás já foi defendido em secções anteriores.

Nesta lógica, não pode ser descurada a questão do consumo de energia para a captação de água em usos agrícolas, que tem como objetivo a produção de alimentos, que é o objetivo de qualquer sistema agrícola e pecuário. Desta ideia surge o conceito «nexo água-energia-alimento» ou «*water-energy-food nexus*» (WEF), conforme a nomenclatura anglo-saxónica, que afirma que há uma estreita relação entre estes três elementos.

Conforme Biggs *et al* (2015), o nexo WEF foi abordado pela primeira vez no Fórum Económico Mundial de 2011 para promover as ligações inseparáveis entre o uso da água, os direitos básicos e universais à alimentação e segurança energética. Foi defendida nesta reunião que este tipo de pensamento seria uma mais-valia nos sistemas de governança e definição de políticas para o desenvolvimento sustentável.

Há uma ligação entre água, energia e produção de alimentos e é preciso estar ciente das conexões dos vértices deste triângulo para perceber como estão ligadas. Por exemplo, usar água para irrigar as culturas é fundamental para a produção de alimentos, mas

também pode reduzir os caudais das linhas de água e o respetivo potencial hidroelétrico. A conversão da irrigação superficial em irrigação pressurizada de alta eficiência pode economizar água, mas também pode resultar em maior consumo de energia (United Nations World Water Assessment Program, 2014).

Estes itens têm sido, até agora, trabalhados em separado. Mas quando os *stakeholders* e os investigadores consideram essa conexão entre eles, desenvolvem, como de uma forma quase natural e lógica, formas mais eficientes de gestão dos SRH e assim conseguem melhorar a sua performance.

Conforme Haie, 2016, é importante referir o seguinte: a água «desperdiçada» (conforme explicado em capítulos anteriores), pode ser reutilizada noutros sistemas a jusante, ou dentro do mesmo sistema. Mas o mesmo não acontece com a energia. Por isso, tem que ser tido em conta e contabilizado como um custo e que influencia a eficiência de qualquer sistema. Por isso, nestes sistemas emaranhados e altamente dependentes, a energia para produzir alimentos é determinante para o dimensionamento de sistemas mais eficientes e sustentáveis, e que não podem ser ignorados.

Perceber esta conexão permite uma compreensão mais holística das interações complexas e não-lineares entre os sistemas de água, energia e alimentos e perceber de forma mais clara as interconexões, dependências e ligações entre produção e uso de recursos energéticos, alimentares e hídricos (Howarth e Monasterolo, 2016 citando Smajgl *et al*, 2016).

O termo «holístico» vem do grego holos, que significa todo ou inteiro. Este adjetivo refere-se ao conjunto, ao «todo», à relação entre as «partes» desse «todo», à integridade do mundo, dos sistemas e dos seres. Esta visão de mundo está em contraponto com uma visão dualista, fragmentadora e mecanicista. Este novo paradigma força uma visão transdisciplinar do meio (natural ou humano). O modelo atende ao conceito de interdependência das partes. Postula que tudo é interdependente, que os fenómenos apenas podem ser compreendidos com a observação do contexto em que ocorre (Teixeira, 1996).

Nesta linha, e indo de encontro ao pensamento de Haie (2016), este autor usou o termo «sistemas emaranhados» inspirado pela teoria da mecânica quântica. Em geral, os sistemas emaranhados são aqueles que estão de tal forma conectados entre si e estão tão

dependentes uns dos outros que faz que o conhecimento de uma parte de um sistema, faz com que se conheçam uma parte de um outro sistema.

Desta linha de pensamento, de modo a incorporar o consumo de energia (En) no SRH, nos pesos benéficos onde se verifique esses consumos de energia, deverão ser alterados. Considerando a energia como um custo associado à produção de alimentos, haverá uma diminuição dessa parte benéfica. Por exemplo, a produção de alimentos é a parte mais importante do peso benéfico ligado a Et. Consequentemente, o peso benéfico de Et ( $W_{bEt}$ ) deve ser reduzido caso o sistema agrícola necessita energia para o fornecimento de água para rega. Este En deve ser posteriormente traduzido numa função normalizada de energia (Enn), variando entre 0 e 1, para transformar valores de gasto de energia em valores relativos. Qualquer fluxo pode ser afetado, desde que envolva gastos energéticos.

Convém referir que aqui não se pretende calcular custos associados a consumos energéticos, mas antes obter um coeficiente que irá influenciar o valor do peso benéfico. Neste contexto, uma maneira de incorporar a energia em *Sefficiency* passará por reduzir  $W_{bX}$  através da expressão:

$$W_{bX2} = (1 - Enn_{Xe}) * W_{bX1} \quad (9)$$

onde  $W_{bX1}$  e  $W_{bX2}$  são, respetivamente, os pesos sem e com as considerações dos parâmetros energéticos (Haie, 2016). Toda esta metodologia será abordada com mais detalhe na aplicação do caso pratico.

## 5.2. Passos do método

Para aplicar *Sefficiency*, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Definir o SRH a ser analisado, definindo os objetivos principais do mesmo;
2. Identificar a principal fonte de água;
3. Determinar os fluxos iguais a 0 e justificar;
4. Desenhar o esquema do SRH com todos os seus fluxos (*inflows* e *outflows*);
5. Estimar os valores de quantidade de cada fluxo;
6. Verificar os balanços hídricos;
7. Calcular os pesos da qualidade e benéficos, ponderando e justificando as opções tomadas;

8. Especificar os *stakeholders* para cada um dos fluxos;
9. Considerar o nexos WEF e os respectivos consumos energéticos em cada um dos caminhos que se comprove gasto de energia;
10. Calcular *Sefficiency*;
11. Fazer análises de sensibilidade;
12. Desenvolver cenários;
13. Propor soluções, de preferência, utilizando processos adaptativos;
14. Começar de novo, se não for razoável ou aceitável.

Apartir daqui, será aplicado este método, seguindo os passos aqui descritos ao caso em estudo (Haie, 2016).

## 6. Aplicação de método *Sefficiency* ao caso de estudo

A obtenção de dados é fundamental para o sucesso ao cálculo de *Sefficiency*. Mas este constitui um dos fatores limitantes para execução deste trabalho, quer da dificuldade na sua obtenção ou mesmo pela inexistência. Outros ainda tiveram que ser extrapolados. Estes tiveram várias origens: pela consulta dos portais da internet de diversos de organismos estatais, como por exemplo o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) ou Serviço Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH). Foi também consultada a ARH Norte, de modo a poder fornecer dados sobre pedidos de licenciamento de extração de águas para rega (superficiais e subterrâneas), conforme o Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio, que estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos, legislando tudo o que esteja relacionado com os licenciamentos, autorizações ou concessões do uso dos recursos hídricos.

No entanto, alguns destes dados foram insuficientes. Para completar esta recolha de dados, foi necessário efetuar entrevistas aos agricultores da região para se poder apurar os volumes de água necessários para cada cultura, quais os diferentes tipos de rega usado, a proveniência dessa água (de furo, poço, rede pública ou outras) e estimar a produção das suas culturas agrícolas.

A informação obtida por esta via é de vital importância para se obterem dados fidedignos e complementar a que já se tinha. Este contacto direto com os agricultores locais foi a melhor forma de entender os reais problemas da gestão dos recursos hídricos, perceber as opções técnicas tomadas e chegar a alguma conclusão caso seja necessário proceder a alterações no sistema.

### 6.1. Precipitação (Pp)

Os dados relativos à precipitação foram retirados da página oficial na internet do SNIRH. Para o ano hidrológico considerado (Outubro de 2016 a Setembro de 2017), na estação meteorológica de Pinhel, foram registrado 364,3 mm de precipitação total. A Tabela seguinte apresenta-se os valores mensais da precipitação para a região:

Tabela 6- Valores de precipitação recolhidos na estação meteorológica de Pinhel

Mês	Precipitação (mm)
<b>Out 16</b>	64,4
<b>Nov 16</b>	80,7
<b>Dez 16</b>	22,5
<b>Jan 17</b>	31,6
<b>Fev 17</b>	54,4
<b>Mar 17</b>	33,3
<b>Abr 17</b>	12,0
<b>Mai 17</b>	40,3
<b>Jun 17</b>	13,3
<b>Jul 17</b>	0,1
<b>Ago 17</b>	11,1
<b>Set 17</b>	0,6
<b>TOTAL</b>	364,3

Fonte: SNIRH, 2017

Em relação aos pesos, tomando em consideração que água proveniente diretamente da chuva tenha a máxima qualidade, a carga poluente será quase nula. Será lógico propor que o peso da qualidade seja igual a 1. Da mesma forma, considera-se que toda esta água é benéfica para o crescimento das plantas. Será considerado também 1 o valor para o peso da qualidade.

## 6.2. Água captada apartir da fonte principal (Va)

Por definição, conforme Haie e Keller (2012) e Haie (2016), Va é a água proveniente da fonte principal, excetuando a água proveniente da precipitação. Da análise deste SRH, Va será proveniente de poços e furos existentes nas propriedades dos agricultores. Estes dados foram obtidos por intermedio da ARH Norte, dos pedidos de licenciamento para o uso dos recursos hídricos para a zona de estudo, durante o ano hidrológico considerado.

A extração de águas, seja ela de domínio privado ou público, seja extração de água subterrâneas ou superficiais está sujeita a legislação específica, pelo Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio. Este diploma refere, de forma muito clara, que a extração de águas, seja em domínio público ou privado, está sujeita a licenciamento.

No entanto, poucos são os agricultores que fazem este pedido de licenciamento, seja por desconhecimento da lei ou por outros motivos. Foi necessário inquirir diretamente os agricultores locais sobre os volumes de água extraída. Foi-lhes pedido uma estimativa da

quantidade de água extraída anualmente, o método de extração, o tipo de cultura regada e mesmo outra informação que se considere relevante. No anexo I, está um impresso, com a entrevista tipo que foi feita a cada agricultor.

Do somatório das quantidades de água provenientes das duas fontes mencionadas, conclui-se que Va para Souropires foi de 189 mm e de Valbom foi de 119,5 mm.

Para se obter o valor do peso da qualidade, para este parâmetro, recorreu-se à análise de dados referentes à qualidade de água subterrâneas. Estes dados estão disponíveis na página da internet do SNIRH. Este valor resulta de análises que procedem de amostras recolhidas de um poço, situado na localidade de Pala, próxima das duas freguesias. No SNIRH existe uma rede de 22633 pontos de amostragem de água subterrânea, onde se faz recolhas periódicas de amostras, para controlo da qualidade dessas ditas águas subterrâneas em todo o território português. O poço de Pala é o ponto 171/C12 desta rede de amostragem.

Todos os parâmetros analisados foram depois comparadas com os Valores Máximos Admissíveis (VMA) e Valores Máximos Recomendado (VMR) estipulados pelo Decreto Lei 236/98 de 1 de Agosto (Decreto Lei que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas, definindo os requisitos a observar na utilização de águas para consumo humano, águas para suporte da vida aquícola, águas balneares e águas de rega, tanto superficiais como subterrâneas). Segue um quadro com os valores obtidos e comparação com a legislação (segundo decreto citado, no seu anexo XVI, relativo à qualidade de água para rega):

Tabela 7- Valores relativos à qualidade de águas subterrâneas no poço de Pala

PARAMETRO DE MEDIÇÃO	VALOR OBTIDO	VMR	VMA	
Nitratos (Mg/l)	10-14	50	-	Ok
pH	6	6,5-8,4	4,5-9,0	Ko!!!
Cloretos (mg/l)	15	70	-	Ok
Coliformes fecais (/100ml)	9/100	100/100	-	Ok

Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2017

Todos estes valores estão dentro do que é estipulado por lei, com exceção do pH, que se apresentam ligeiramente ácido, sendo mais baixo que o VMR recomendado, apesar de



estar dentro do intervalo de VMA. Assim justifica-se que o peso da qualidade para este valor seja um pouco inferior a 1 pelo que  $W_{qva}$  seja de 0,9, para as duas freguesias. O peso benéfico, pelas mesmas razões apresentadas para a precipitação, será igual a 1.

### **6.3. Volume de água a montante e jusante da fonte principal (Vu e Vd)**

Conforme foi dito atrás, pelo que foi dito em capítulos anteriores, não se vai calcular a Macro- eficiência, pelo que não se vão considerar estes dois valores

### **6.4. Evapotranspiração (Et)**

Designa-se por Et ao processo como a água passa da superfície terrestre para a atmosfera no estado de vapor. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceanos, ...), dos solos e da vegetação húmida (que foi intercetada durante uma chuvada) e a transpiração da vegetação. Do Et total, podem-se separar duas partes: evaporação e transpiração (Doorenbos e Pruitt, 1977). Convém clarificar que para efeitos de cálculo de eficiência considera-se evapotranspiração de forma global, sem separar os dois conceitos. Mas explicar a sua origem é importante para a sua compreensão.

Transpiração é o fluxo de vapor de água dos estomas das folhas que faz com que a água se mova do solo para as raízes, através dos caules e para as folhas. O vapor de água sai através dos mesmos estomas por onde o dióxido de carbono entra. O vapor de água perdido pela transpiração em troca de dióxido de carbono é o processo primário para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A evaporação é a conversão direta da água em vapor de água quando as folhas molhadas ou o solo são expostos ao ar mais seco e ao calor radiante. Et é definida como a soma da evaporação direta e transpiração da água do solo através dos sistemas da planta e para a atmosfera (Perry *et al*, 2009).

Et é importante porque permite traduz a produção de biomassa das culturas e crescimento das plantas. A escolha das culturas em qualquer sistema agrícola influencia (e muito) o fluxo de água que «sai» desse sistema, condicionando a sua eficiência.

Mas atenção que, tendo em conta o que foi dito atrás, não se defende neste trabalho que a plantação de culturas menos exigentes em termos de necessidades hídricas seja por si só o fator chave na gestão de SRH. A questão não é assim tão linear, como sobejamente já foi referido. Qualquer SRH é algo de muito complexo e devem-se estudar todos os seus parâmetros hidrológicos e agronómico (para o caso de sistemas agrícolas), bem como estudar o entorno, perceber quais são as fontes de água disponíveis, apostar nas plantas que melhor se adaptam ao meio, perceber a realidade social da região e suas dinâmicas económicas (por exemplo, a capacidade dos mercados locais absorverem aquilo que é produzido) e, em alguns casos, perceber as tradições locais e as suas vivências. Depois deste estudo, recomenda-se que se calcule a eficiência do sistema e tomar decisões, mas de uma forma global.

Para estimar o valor de  $E_t$  para a região do estudo será seguida a metodologia proposta por Doorenbos e Pruitt, (1977), também chamada por Metodologia FAO. Esta metodologia consiste em calcular a evapotranspiração para uma cultura padrão, semelhante a um relvado extenso, sempre bem abastecido de água e mantido permanentemente com 12 cm de altura. A  $E_t$  calculada para esta referência denomina-se evapotranspiração de referência ( $E_{t_0}$ ) e depende apenas das condições climáticas. Neste estudo em particular, recorreu-se a dados fornecidos pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), disponíveis nos seus boletins meteorológicos para a agricultura.

Para calcular o consumo de água de determinada cultura, que se denomina evapotranspiração da cultura ( $E_{t_c}$ ), será necessário obter um valor denominado por coeficiente cultural ( $K_c$ ), que é um índice que está dependente do estado vegetativo e do tipo de cultura. O gráfico representado na figura 10 serve para uma ideia dos valores possíveis de  $K_c$  e como este pode variar.

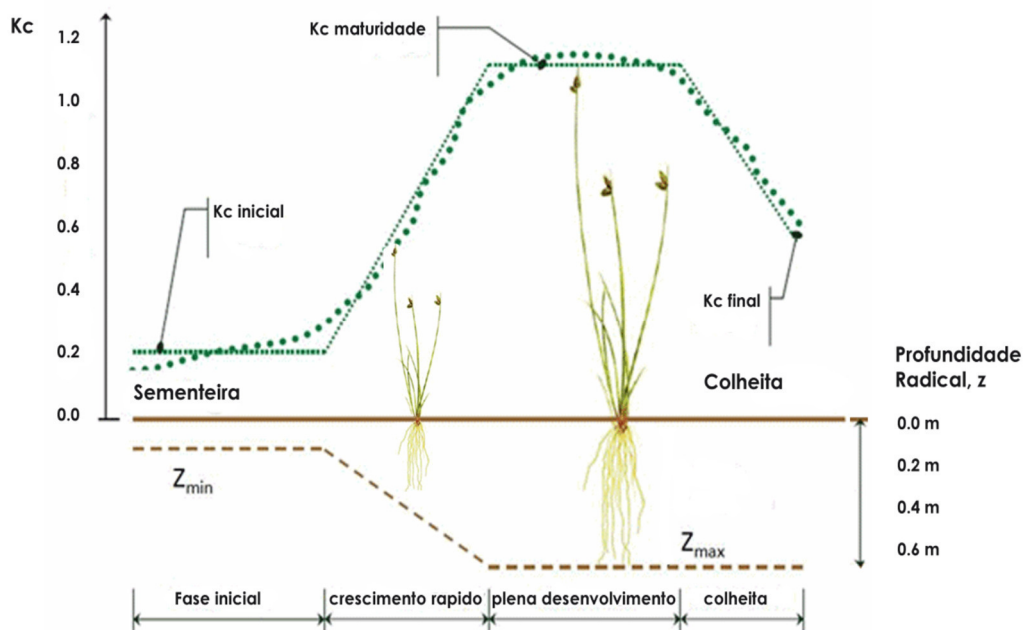


Figura 10- Exemplo de evolução de  $K_c$  ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura

Fonte: Shahidian, 2012

À falta de mais dados,  $K_c$  pode ser obtido pela consulta deste gráfico. Mas o aconselhável será que  $K_c$  esteja adaptado a cada planta e local. Para esta caso em concreto, consultaram-se tabelas desenvolvidas por Shahidian (2012), pois estão perfeitamente adaptadas à realidade da Beira Interior (e podendo mesmo dizer para climas mediterrânicos), com a vantagem de apresentar  $K_c$  diferentes em função do estado de desenvolvimento da planta. Esta tabela pode ser consultada no anexo II deste texto.

Para algumas culturas, nomeadamente culturas arbóreas, tem que se considerar ainda o ensombramento provocado pela copa. Terá que ser calculado um outro coeficiente denominado por coeficiente redutor ( $K_r$ ). Na ausência de informação sobre  $K_r$ , este poderá ser estimado com base na percentagem da superfície de solo coberta pelas copas das culturas ( $S_c$ ).

$$K_r = \frac{2 \cdot S_c}{100} \quad (10)$$

Por sua vez,  $S_c$  é calculado em função do diâmetro médio da copa das árvores ( $D$ ), em metros, e da densidade de plantação ( $N$ ) em árvores/ha, de acordo com a expressão:

$$Sc = \frac{\pi \cdot N \cdot D^2}{400} \quad (11)$$

Kr toma valores compreendidos entre 0 para culturas recém-plantados e 1 para plantas em desenvolvimento pleno e com boas condições de abastecimento em água. Como Kr máximo é igual a 1, a expressão apenas se aplica em situações de Sc inferior a 50% (Maia, 2003). Kr, este toma o valor de 0,6 para a vinha e 0,8 para o olival. Para as restantes culturas, Sc foi superior a 50%, pelo que se considera que não provoca ensombramento.

Em conclusão,  $Etc$  calcula-se recorrendo à expressão (12), que se segue. Nas tabelas 8 e 9 está o calculo final de  $Etc$ , para cada um dos sistemas e, na tabela 10, o cálculo considerando os dois sistemas como um só.

$$Etc = Et_o * K_c * K_r \quad (12)$$

Tabela 8 -  $Etc$  do Sistema Souropires

	<b>Área (ha)</b>	<b><math>Et_o</math> (mm)</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>K_r</math></b>	<b><math>Etc</math> (mm)</b>
<b>VINHA OLIVAL HORTÍCOLAS E BATATAS CULTURAS ANUAIS DE SEQUIERO FORRAGENS E PASTAGENS</b>	600	1200	0,7	0,6	504
	195	1200	0,65	0,8	624
	30	1200	0,9	N/A	1080
	0	1200	0,7	N/A	840
	260	1200	0,55	N/A	660
				<b><math>Etc</math> final</b>	<b>388</b>

Tabela 9-  $E_t$  do Sistema Valbom

	<b>Área (ha)</b>	<b><math>E_{t_0}</math> (mm)</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>K_r</math></b>	<b><math>E_{t_c}</math> (mm)</b>
<b>VINHA OLIVAL HORTÍCOLAS E BATATAS CULTURAS ANUAIS DE SEQUIERO FORRAGENS E PASTAGENS</b>	487	1200	0,7	0,6	504
	221	1200	0,65	0,8	624
	29	1200	0,9	N/A	1080
	89	1200	0,7	N/A	840
	181	1200	0,55	N/A	660
<b><math>E_{t_c}</math> final</b>					<b>412</b>

Tabela 10-  $E_{t_c}$  resultante da junção dos dois sistemas (S + V)

	<b>Área (ha)</b>	<b><math>E_{t_0}</math> (mm)</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>K_r</math></b>	<b><math>E_{t_c}</math> (mm)</b>
<b>VINHA OLIVAL HORTÍCOLAS E BATATAS CULTURAS ANUAIS DE SEQUIERO FORRAGENS E PASTAGENS</b>	1087	1200	0,7	0,6	504
	416	1200	0,65	0,8	624
	56	1200	0,9	1	1080
	89	1200	0,7	1	840
	441	1200	0,55	N/A	660
<b><math>E_{t_c}</math> final</b>					<b>400</b>

Depois de calculado o valor de  $E_t$ , serão considerados os pesos.  $W_{q_{et}}$  será 1, pelos motivos já referidos. Mais complexa é a obtenção do peso benéfico. Em primeiro lugar deve-se recordar o que já foi escrito nesta dissertação sobre o que se considera benéfico e não benéfico: como o uso benéfico é definido pelos *stakeholders*, considera-se que a parte benéfica é a água destinada à produção de alimentos (uva, azeitona ou pastagens). Em contraponto, as plantas sem valor comercial (infestantes), são consideradas a parte não benéfica do sistema. Assim, pela observação direta dos campos de cultura, aproximadamente 10% das plantas produzidas são infestantes. Considera-se assim que o peso benéfico será de 0,9 (referente a 90% de plantas existentes para consumo).

Além desta consideração, deve-se ter em atenção ao nexo WEF, pois o uso de energia para a captação de água para rega (para uma consequente produção de alimentos), afeta  $W_{b_{et}}$ . A produção de alimentos é a parte mais importante do peso benéfico ligado a  $E_t$  e deve refletir o consumo energético relacionada com essa produção de alimentos. Por isso, este peso tem que ser reduzido se o sistema agrícola consome energia no fornecimento de água para as plantas, como é este caso de estudo. Pretende-se chegar a um valor numérico que vai afetar  $W_{b_{et}}$  inicial, através do emprego da equação (10). Para este caso particular, já se sabe que  $W_{b_{et1}}$  será igual 0,9. Será necessário encontrar o valor  $ENNet$  para a obtenção do valor  $W_{b_{et2}}$ , que será o valor final do peso benéfico para  $E_t$ .

Conforme Haie (2016), não há muitas configurações de sistemas emaranhados que considerem WEF pelo que, para este caso em particular, seguiram-se as recomendações deste autor. Conforme a figura 9, que mostra um sistema típico, que retrata um sistema de irrigação que bombeia água de um rio para produção de alimentos, vai-se seguir este modelo para este cálculo em particular, porque se adapta perfeitamente a esta realidade, com a diferença de a fonte principal não ser a água de um rio, mas de poços e de furos. Nesta situação, de modo a incorporar  $E_n$  no SRH, será necessário relacionar a captação de água ( $V_a$ ), com o consumo energético associado.

No entanto, surge aqui um problema, pelo facto de haver poucos trabalhos que seguem esta filosofia e que consideram a energia consumida pelo sistema para o cálculo da eficiência. Depois da consulta de vários autores para determinar a melhor metodologia para o cálculo de  $Enn$ , optou-se por seguir a abordagem já citada de Haie (2016), que não deixa de ser a base da fundamentação deste estudo, complementado com o trabalho de Jackson *et al* (2010). Estes autores assumiram um princípio que para trabalhos agrícolas (fertilização, sementeira, captação de água...) seja atribuído um valor denominado por equivalente energia, em que, por exemplo, 1 litro de combustível ou electricidade gasto para rega, ou as horas de trabalho gastas nesse processo, equivale a um valor em Mj. Estes valores estão na tabela 11.

Tabela 11- Input e valores de energia equivalente para diversas atividades agrícolas

Input	Unidade	Equivalente Energia (Mj)
<b>Trabalho Humano</b>	Horas	2,3
<b>Gasolina</b>	Litros	38,6
<b>Maquinaria</b>	Horas	64,8
<b>Eletricidade</b>	kWh	11,9
<b>Fertilização e Adubação</b>		
<b>Azoto</b>	Kg	66,1
<b>Fósforo</b>	Kg	12,4
<b>Potássio</b>	Kg	11,2
<b>Sulfatos</b>	Kg	5,0
<b>Estrume</b>	Ton	303,1
<b>Agroquímicos</b>		
<b>Fungicidas</b>	Kg	92,0
<b>Herbicidas</b>	Kg	240,0
<b>Inseticidas</b>	Kg	200,0
<b>Sementeiras</b>		
<b>Arroz</b>	Kg	14,7
<b>Trigo</b>	Kg	15,7
<b>Milho</b>	Kg	15,7
<b>Oleaginosas</b>	Kg	36

Fonte: Jackson *et al*, 2010

Notar que como, para este estudo, apenas se está a contabilizar o gasto energético para a captação de água, todas as outras atividades agrícolas que são descritas na tabela, escapam ao âmbito desta dissertação, pois ao contabilizar o gasto energético de, por exemplo, uma sementeira ou uma adubação, são irrelevantes para o estabelecimento do WEF. Importante referir que estes valores também contabilizam outro tipo de gastos indiretos, como investimento dos equipamentos ou custo com manutenções.

Resumidamente, os paços necessários para obter o valor de *Ennet*, para este caso em particular serão:

1. Definir uma amostra representativa dos agricultores locais;
2. Estimar os volumes de água gasta anualmente por cada agricultor que constitui a amostra;
3. Calcular o correspondente *En*, em função dos volumes obtidos no ponto anterior, através da consulta da tabela anterior, em equivalentes energia por hectare, considerando os gastos com combustível, gastos em eletricidade (consoante o

método de rega) e apurando ainda o número de horas para a realização da atividade da rega;

4. Construir uma linha de tendência da relação extração de água ( $V_a$ ) energia ( $E_n$ ),
5. Definir um valor máximo de gasto anual de energia (valor considerado pelos *stakeholders* e gestores do sistema);
6. Estabelecer uma curva que relacione  $E_n$ -  $E_{nn}$ , fazendo corresponder um valor mínimo  $E_{nn}$  igual a 0, cujo  $E_n$  seja também 0 e o valor de energético máximo considerado no ponto 5 corresponda  $E_{nn}$  igual a 1;
7. Para o valor de  $V_a$  (ou dos caminhos que consumam energia) do sistema, procurar na linha de tendência calculada no ponto 5 o valor  $E_n$  correspondente;
8. Encontrado o valor de  $E_n$  correspondente a  $V_a$  do sistema, procurar na segunda linha ( $E_n$ - $E_{nn}$ ) o valor numérico correspondente;
9. Obter  $W_{bet2}$ , pela expressão considerada atrás.

Seguindo o guião proposto, foram selecionados 10 agricultores (5 de cada freguesia), de forma a constituir uma amostra o mais próxima possível da realidade e representativa do tecido agrícola local. Este trabalho revelou-se uma limitação extra pois a grande maioria dos agricultores não responderam às questões colocadas, ou por desconhecimento ou mesmo por se recusarem a colaborar. De qualquer forma, foi possível constituir um grupo de trabalho para a obtenção dos valores pretendidos.

A estes agricultores foi feito um inquérito (anexo I) onde se lhe perguntou sobre qual seria a quantidade de água captada para rega, área regada, tipo de cultura regada e tipo de rega. Depois, para se poder estimar os valores de energia equivalente perguntou-se também a quantidade de combustível gasto para a rega (caso rega por motores a gasolina), ou potencia (caso motores elétricos) e ainda as horas estimadas de trabalho manual, para executar essas operações.

Destas entrevistas resultaram os seguintes resultados, com o correspondente consumo estimado (tabela 12).



Tabela 12- Gastos energéticos dos inquiridos em função do volume de água captado

	Captação (m³/ha)	Localização	Principal Cultivo	Tipo de rega	Fonte de energia	Consumo Energético						Relação energia (MJ/m³)	
						Trabalho Humano		Gasolina		Eletricidade			Energia equivalente (MJ/ha)
						Horas de Trabalho	Input final (MJ/ha)	Litros/ha	Input final (MJ/ha)	kWh/ha	Input final (MJ/ha)		
S1	40	Souropires	Vinha	Gota-a- gota	Motor elétrico	2	4,6	0	0	7	83,3	87,9	2,20
V1	250	Valbom	Batata	Superficial	Gasolina	16	36,8	8	308,8	0	0	345,6	1,38
S2	300	Souropires	Batatas e hortícolas	Superficial	Gasolina	15	34,5	8	308,8	0	0	343,3	1,14
S3	300	Souropires	Hortícolas	Superficial	Gasolina	32	73,6	10	386	0	0	459,6	1,53
V2	350	Valbom	Batatas	Superficial	Gasolina	20	46	9	347,4	0	0	393,4	1,12
V3	400	Valbom	Hortícolas	Superficial	Gasolina	30	69	15	579	0	0	648,0	1,62
S4	425	Souropires	Batatas e hortícolas	Superficial	Gasolina	33	75,9	7	270,2	0	0	346,1	0,81
S5	500	Souropires	Cereal	Superficial	Gasolina	28	64,4	16	617,6	0	0	682	1,36
V4	550	Valbom	Pastagem	Superficial	Gasolina	27	62,1	10	386	0	0	448,1	0,82
V5	600	Valbom	Pastagem	Superficial	Gasolina	26	59,8	15	579	0	0	638,8	1,06

Da leitura da tabela, será importante fazer uma referência aos valores do agricultor S1, o único que tem sistemas de rega com sistema gota-a-gota. Verificou-se uma redução significativa do volume de água captado por hectare. Mas caso se relacione esse volume de água usado para rega com consumo energético final, verifica-se que foi neste caso onde se consumiu, proporcionalmente, mais energia por hectare. Ou seja, desde já se pode tirar uma ilacção que apostar neste tipo de sistema, para este SHR, pode não ser a forma mais sustentável de rega.

Estes dados permitem estabelecer um modelo matemático que relaciona Va com En, resultando os seguintes gráficos:

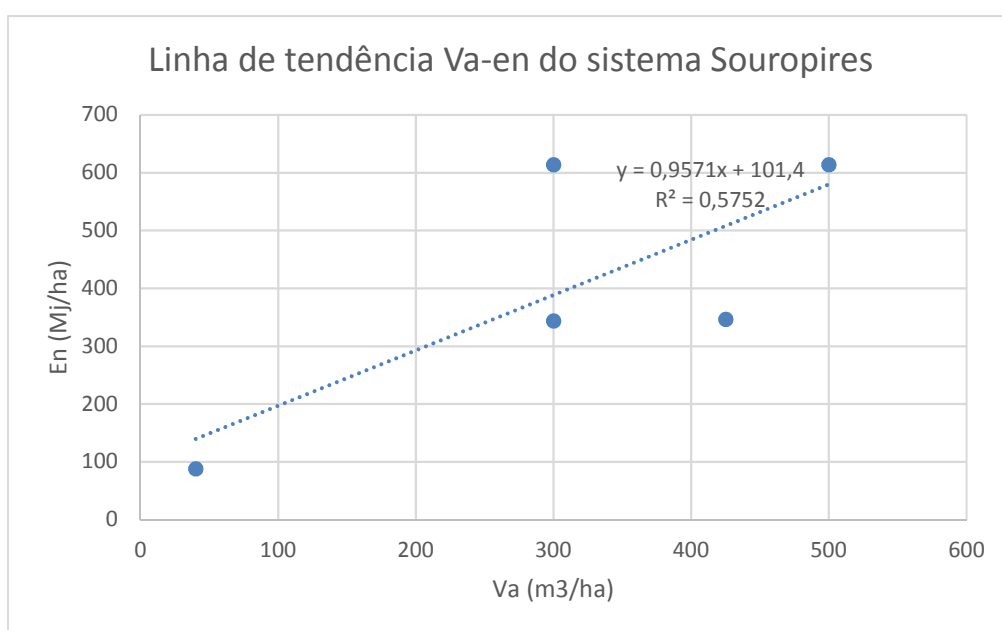


Figura 11- Relação Va- En para o sistema Souropires

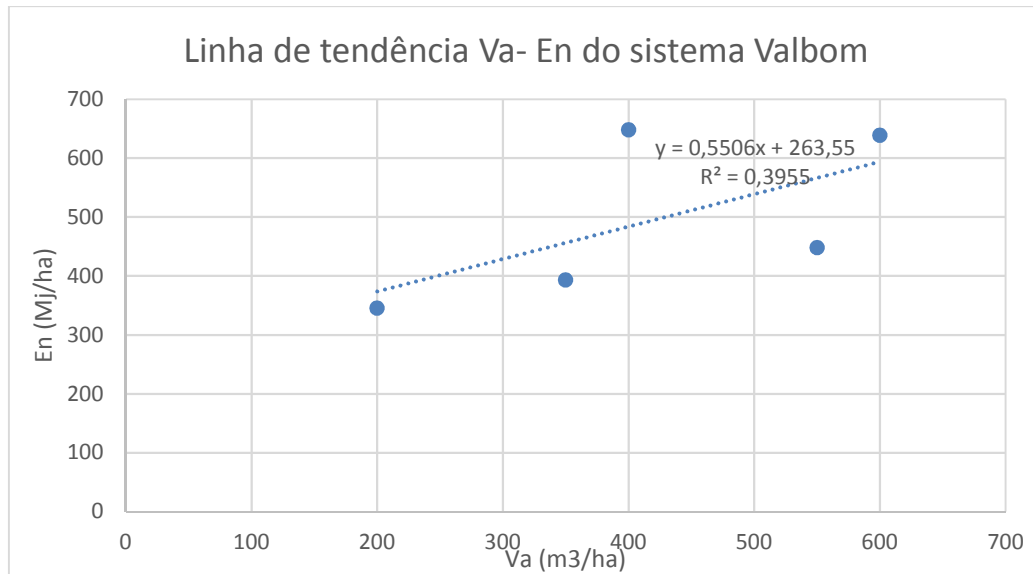


Figura 12- Relação Va- En para o sistema Valbom

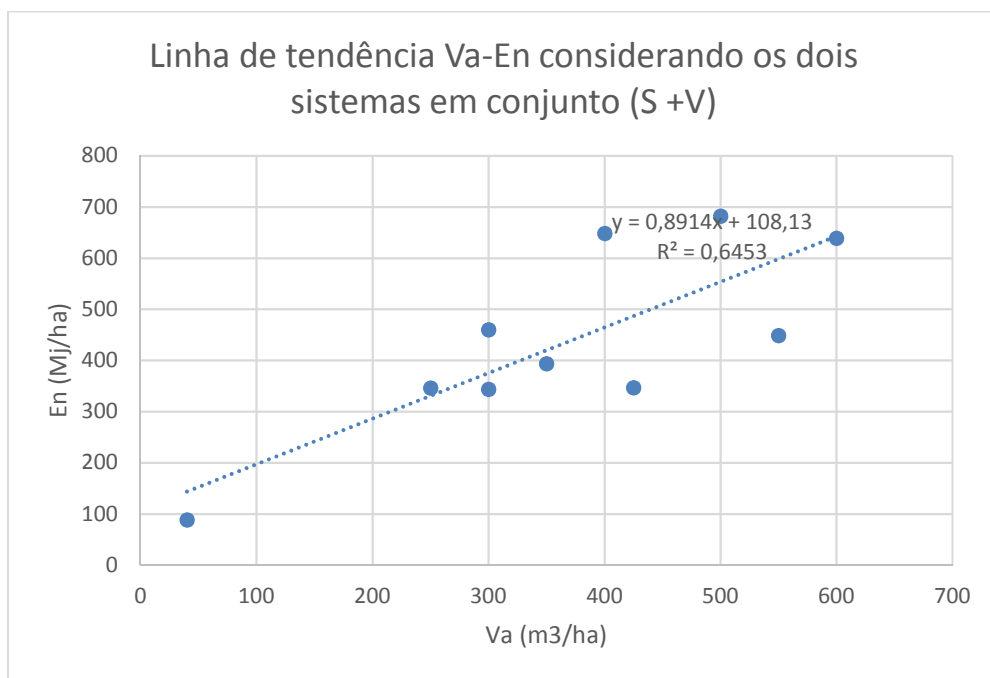


Figura 13- Relação Va- En para o sistema resultante da fusão dos dois sistemas

Depois da obtenção destas linhas de tendência, já é possível estabelecer uma relação En-Enn, que relacione o gasto energético com um determinado valor numérico que afetará  $W_{b_{et}}$  final. Para esta situação particular, pode-se usar um método simples, através da execução de uma equação linear tipo  $Enn = (En - En_{min}) / (En_{max} - En_{min})$ , definindo

um valor mínimo de gasto energético (que é zero), para captações que não consomem energia e um valor 1, para um consumo máximo (Haie, 2016).

Outras metodologias podem ser empregues, desde que devidamente justificados. Para este caso, como estamos na presença de consumos baixos e pela ausência de alguns dados, considerou-se este método. Mas este, pode não ser o mais indicado para outros casos, pois sabe-se que o consumo elétrico, por exemplo, não segue um regime linear, pois os reguladores energéticos estabelecem um preço em função de patamares. Para sistemas mais complexos, recomenda-se estudos mais profundos, que se adequem o mais possível com essa realidade particular.

Mas qual o critério para definir este valor máximo (En max)? Ao levar em consideração a sustentabilidade dos sistemas de recursos hídricos, a busca de uma solução lógica e ótima é um processo complexo, pois envolve muitas fontes de incerteza e diferentes pontos de vistas das partes interessadas. Nesse sentido, são necessários múltiplos critérios para refletir a complexidade da avaliação de sustentabilidade para os decisores. Isso significa ter em conta não apenas os critérios técnicos e económicos, mas também os indicadores ambientais, sociais e institucionais. Será assim necessário o desenvolvimento de métodos robustos que possibilitem a interpretação conjunta de múltiplos critérios e as preferências das partes interessadas, de forma a proporcionarem ferramentas de análise de decisão eficazes para o suporte de decisão de problemas complexos e lidar com objetivos e interesses opostos e incertezas (Martín-Gamboa *et al*, 2017).

No seguimento desta lógica, e estando de acordo com os passos do método, consultaram-se alguns dos *stakeholders* locais como a Adega Cooperativa de Pinhel, a Associação Comercial e Industrial de Pinhel e a Agripec- Associação de Agricultores e Produtores de Gado de Pinhel e ainda pequenos agricultores que não fazem parte de qualquer associação.

Depois da análise ter sido feita e refletir sobre a opinião dos diversos atores envolvidos nos projetos, as alternativas terão quer ser estruturadas numa espécie de *ranking*, onde seja possível visualizar a importância de cada uma delas. Os decisores devem formular funções de utilidade de medida única para cada atributo. Esta função de utilidade transforma valores numéricos em valores de utilidade, de modo que, para cada valor de um atributo  $x$ , existe um valor de utilidade correspondente  $U(x)$ , que está em uma escala padronizada, como 0 a 1 ou 0 a 100 (Hahn *et al*, 2012).

Neste caso concreto, ao definir uma relação En- Enn, define-se um valor de En máximo que lhe vai corresponder um Enn máximo igual a 1. Da mesma forma considera-se um valor En mínimo igual a 0, que vai corresponder ENN mínimo também 0. Entre estes dois valores vai-se estabelecer uma relação linear, traduzida pela correspondente reta.

Assim, da consulta referida atrás, aos *stakeholders* mencionados, chegou-se à conclusão que ao valor Enn igual a 1 (Enn máximo, que não poderia ser ultrapassado de nenhuma forma), seria aquele valor que correspondesse ao gasto energético necessário para bombear 388 mm de água (exemplo para o sistema Souropires), que é o valor de Et do sistema, ou seja, que corresponde à totalidade das necessidades hídricas das plantas para o seu crescimento e produção.

Justifica-se o emprego deste valor para precaver futuros aumentos de consumos energéticos do sistema, quer por via da necessidade de extração de maiores quantidades de água (como em anos de seca), quer pela introdução de mais áreas irrigadas ou pela introdução novas culturas. Assim, o princípio basilar desta ideia será considerar o cenário mais desfavorável possível seja que as necessidades hídricas das plantas só serão completamente satisfeitas por rega que envolva consumo energético. Obviamente, que este valor terá que ser adaptado ano a ano, visto haver mudanças constantes dos fatores climatológicos

Definido este critério, pode-se construir a reta En-Enn (ver figuras). Agora, basta calcular o gasto energético para Va do sistema ou retirar o valor do gráfico Va-En (ver figuras 15, 16 e 17) e depois de se estar na posse de En, bastará consultar na recta En-Enn o critério de utilidade (valor Enn), que irá afectar  $W_{b_{et}}$  e obter o peso final.

Segue de seguida as linhas de tendência para cada um dos sistemas e também para junção dos dois:

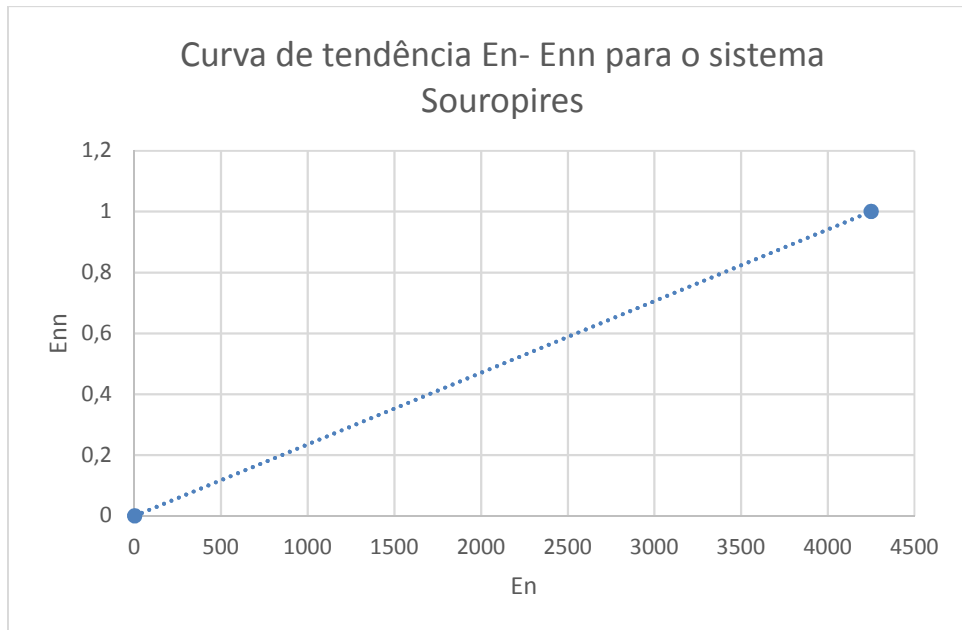


Figura 14- Relação En-Enn para o sistema Souropires

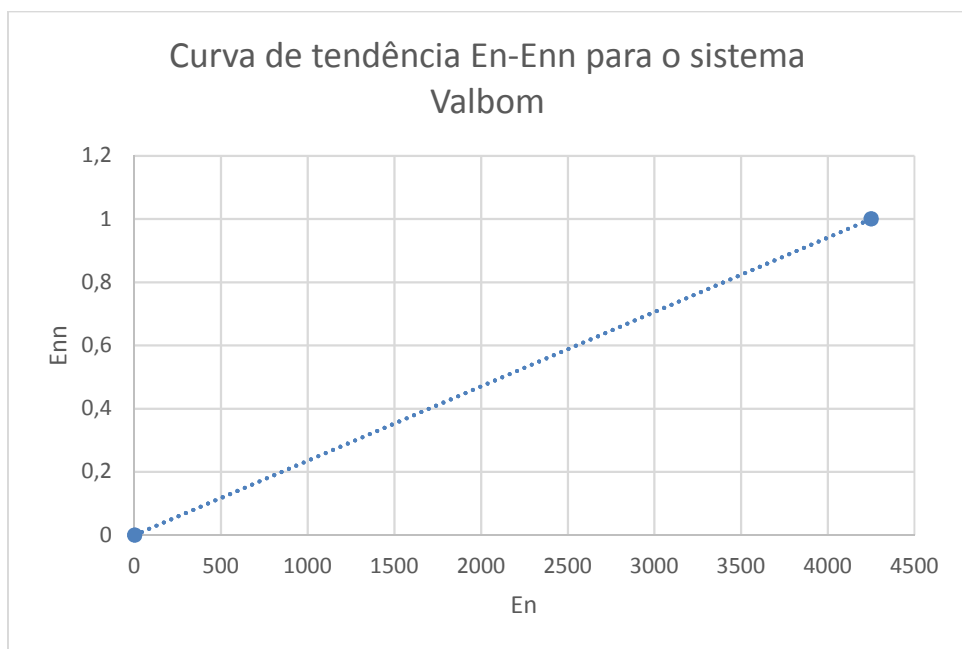


Figura 15- Relação En - Enn para o sistema Valbom

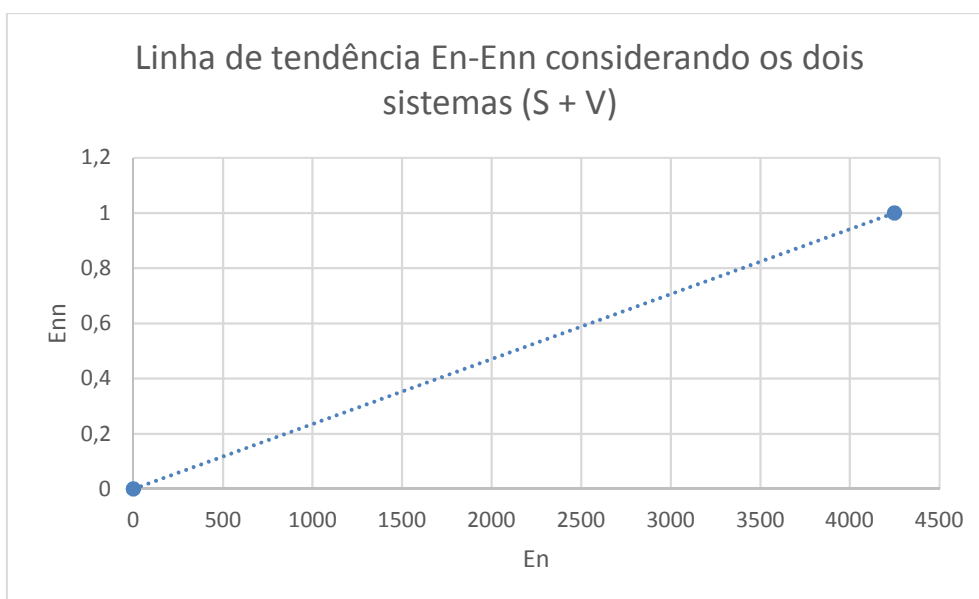


Figura 16- Relação En-Enn para o sistema S + V

Da consulta destes gráficos e transformando os valores atrás de  $V_a$  de mm para  $m^3/ha$  obtém-se os valores de Enn e correspondente  $W_{bet2}$  (peso benéfico final) que estão na tabela 13.

Tabela 13- Quadro resumo das equações e correspondentes valores  $W_{bet1}$  e Enn

Sistema	$W_{bet1}$	Equação da relação $V_a$ - En ( $y=mx + b$ )	Equação da relação En – Enn ( $Enn = a En + b$ )	ENN	$W_{bet2}$
<b>Souropires</b>	0,9	$y = 0,95x + 101,40$	$y = 2,35 \cdot 10^{-4}$	0,09	0,82
<b>Valbom</b>		$y = 0,55x + 263,55$	$y = 3,95 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,71
<b>S + V</b>		$y = 0,89x + 108,13$	$y = 2,72 \cdot 10^{-4}$	0,13	0,78

Da leitura desta tabela, fica patente que este fator deve ser tomado em consideração, que a consideração da energia gasta num sistema é vital para obter avaliar convenientemente a eficiência dos SRH e aproximar o mais possível da realidade. Comparando  $W_{bet1}$  com  $W_{bet2}$  fica evidente a redução do peso com a consequente redução das eficiências.

## 6.5. Outras fontes (Os)

Por definição, Os são todas as outras captações de água, alternativas a Va. Para este caso de estudo, vão se considerar algumas captações provenientes linhas de água de menor dimensão situadas, em alguns casos, na proximidade das propriedades agrícolas ou no interior das mesmas. Para Souropires considera-se um valor de 10 mm e para Valbom 15 mm. A obtenção resultou da consulta de dados da ARH Norte (pedidos de licenciamento do domínio hídrico) e sondagem direta com os agricultores.

Para a obtenção dos valores dos pesos recorreu-se da informação do Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto e do portal do SNIRH. As linhas de água que atravessam as freguesias são classificadas como classe C (razoável), pela consulta desta fonte. Este critério de classificação, estabelece uma escala, que vai desde A até F, onde A é uma massa de água com qualidade máxima e F é aquela que tem qualidade mínima. Esta avaliação é feita tendo em consideração a avaliação do estado químico e ecológico das massas de água superficiais. Os parâmetros de classificação que permitem fazer esta avaliação estão estabelecidos no Decreto-Lei n.º 218/2015, de 7 de Outubro, que procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de setembro, que estabelece as normas de qualidade ambiental no domínio da política da água, transpondo a Diretiva n.º 2013/39/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Agosto, no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água (Agência Portuguesa do Ambiente, 2016).

Conforme a referida ordenação, procedeu-se fazer um paralelismo com esta classificação e o peso benéfico. A classificação proposta pode ser consultada na tabela seguinte:

Tabela 14- Classificação da qualidade da água e atribuição de pesos

Classificação conforme Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto		Wq
<b>A</b>	Excelente	1
<b>B</b>	Boa	0,8
<b>C</b>	Razoável	0,6
<b>D</b>	Má	0,4
<b>E</b>	Muito má	0,2
<b>F</b>	Péssima	0



Assim, considera-se que o peso da qualidade para ambas freguesias será 0,6. O peso benéfico, para ambas freguesias, é 1 pelos mesmos motivos apresentados em Va.

## 6.6. Escorrências (Rp e Rf)

A diferença entre Rf e Rp é que o primeiro constitui a parcela do sistema que regressa ao sistema de recursos hídrico, depois do seu uso, enquanto que a segunda é aquela que não volta a esses sistemas. Os dois fluxos devido à impossibilidade de proceder ao seu cálculo em separado, serão abordados em conjunto, sendo denominados simplesmente por R.

Por não ter sido possível fazer medições destes parâmetros nem haver registos dos mesmos, considera-se que, para a obtenção deste valor, se recorra ao emprego do cálculo do balanço hídrico. Como tem que haver um equilíbrio entre as entradas e saídas de água nos sistemas em estudo e ao já se ter obtido os outros valores deduz-se da expressão:

$$(Va + Pp + Os) = (Et + R) \quad (13)$$

Logo, R será obtido pela expressão:

$$R = Va + Pp + Os - Et \quad (14)$$

Seguem-se, de seguida, uma série de tabelas, nas quais se pretende sintetizar a toda a informação obtida, em todos os sistemas de estudo:

Tabela 15- Quadro-resumo dos valores do sistema Souropires

	<b>Valor (mm)</b>	<b>Wb</b>	<b>Wq</b>
<b>Pp</b>	364,3	1	1
<b>Va</b>	30	1	0,9
<b>Et</b>	388	0,82	1
<b>Os</b>	10	0,6	1
<b>R (Rp + Rf)</b>	16,3	1	1

Tabela 16- Quadro-resumo dos valores do sistema Valbom

	<b>Valor (mm)</b>	<b>Wb</b>	<b>Wq</b>
<b>Pp</b>	364,3	1	1
<b>Va</b>	50	1	0,9
<b>Et</b>	382	0,71	1
<b>Os</b>	15	0,6	1
<b>R (Rp + Rf)</b>	47,3	1	1

Tabela 17- Quadro-resumo dos valores do sistema S + V

	<b>Valor (mm)</b>	<b>Wb</b>	<b>Wq</b>
<b>Pp</b>	364,3	1	1
<b>Va</b>	40	1	0,9
<b>Et</b>	400	0,78	1
<b>Os</b>	12,4	0,6	1
<b>R (Rp + Rf)</b>	16,7	1	1

## 7. Análise de resultados e discussões

Depois de apresentados os valores utilizados no cálculo de Sefficiency, segue o cálculo das diferentes eficiências:

Tabela 18- Valores de Sefficiency para todos os sistemas

	<b>Souropires</b>	<b>Valbom</b>	<b>S + V</b>
<b>iMesoEs</b>	84,1	76,2	80,9
<b>cMesoEs</b>	83,4	73,2	80,1
<b>Micros</b>	80,0	64,9	76,1

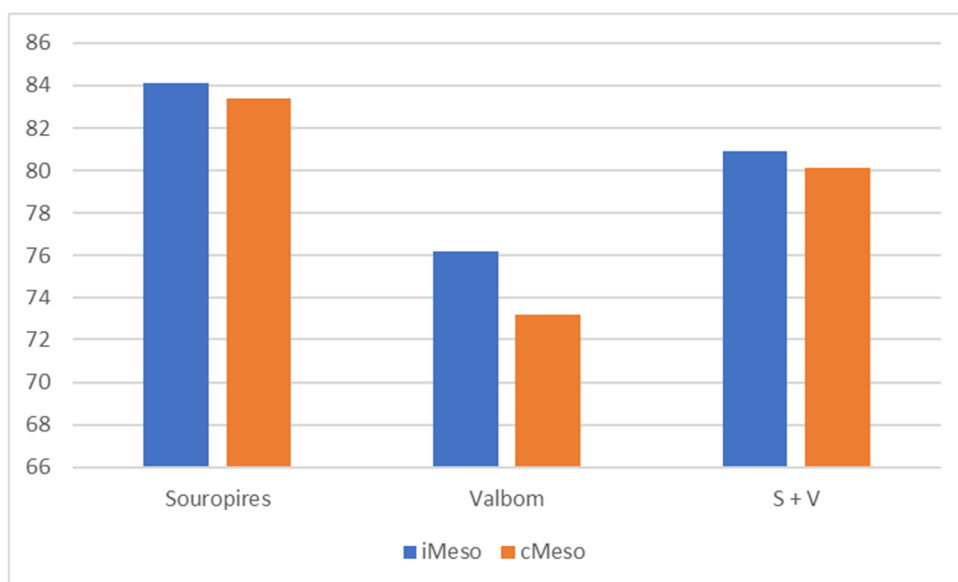


Figura 17- Quadro comparativo dos valores de Sefficiency

Olhando para os resultados obtidos, pode-se constatar que, de uma forma geral, as eficiências são satisfatórias. Demonstra que é perfeitamente válido todo o saber adquirido ao longo dos anos por estas comunidades e que está perfeitamente adaptado às circunstâncias do local. Por vezes, a inovação tecnológica, por si só, não resolve os problemas nem as alterações introduzidas são válidas. Veja-se o exemplo que um sistema de pressurização (agricultor S1), levou ao aumento a energia despendida para rega. Aquilo que aparentemente parece ineficaz, é o que se revela mais útil, demonstrando a utilidade deste método (*Sefficiency*). A questão será como respondem os sistemas em função de alterações socio-economicos e climáticas.

Observa-se que os valores de meso-eficiência são estáveis, com uns valores satisfatórios. Isso indica que os refluxos de água estão a ser reencaminhadas convenientemente, ou seja, que o volume de água que retorna para as fontes de captação é suficiente para os sistemas a jusante. Em todos os sistemas, os valores de  $iMesoEs$  e  $cMesoEs$  são relativamente altas, revelando alguma poupança de água ao nível da captação e do consumo, ou seja, que o desperdício é diminuto, sem por em causa a eficiência dos possíveis sistemas a jusante, nem as micro-eficiências de ambos sistemas. No entanto, tem que ser referido que isto acontece porque os pesos são relativamente altos, pois caso contrário, as eficiências poderiam ser postas em causa, ao diminuir a parte útil dos sistemas.

Voltando à análise dos resultados obtidos, pode-se dizer que os valores das meso-eficiências são superiores às micro-eficiências, indicando um retorno eficaz dos impactos financeiros dos sistemas. Mas atenção, que esse impacto financeiro também não é muito intenso, pelo que estes valores não seriam tão interessantes se o investimento de capital fosse muito superior, podendo levar a alterações significativas na forma dos sistemas agrícolas locais.

Não deixa de ser relativamente preocupante o baixo valor da micro-eficiência de Valbom, por comparação como as outras eficiências. Este valor pode ser justificado pelo valor mais alto de  $R$ , que demonstra que o uso dos recursos hídricos deste sistema, por parte dos agricultores não é o melhor.

Há um aspeto importante a realçar que é baixo valor de  $W_{qos}$  (0,6), por comparação com outros peso, que faz com se reduza globalmente os valores de *Sefficiency*. Mas tal não é preocupante pois a percentagem de água que vem por este caminho é relativamente baixa, pelo que melhoria deste parâmetro não seria por si só responsável pela grande melhoria do sistema.

Verifica-se também que a eficiência no sistema de Souropires é superior ao sistema de Valbom. Considerando ainda a fusão dos dois sistemas como um só, é mais eficiente que o sistema Valbom, quando considerado como um sistema separado, mas a sua eficiência é inferior que o sistema Souropires. Isto pode ser explicado pelo facto do fator  $Enn$  (e consequente  $W_{b_{et}}$ ) ser bastante menor em Souropires, que faz com que o impacto em  $W_{b_{et}}$  não seja tão importante. Demonstra-se, assim, da importância do gasto energético na sustentabilidade de um sistema de gestão de recursos hídricos.

Desta primeira amostra de resultados, pode-se já concluir da importância da racionalidade e bom senso na hora das captações. Da consideração de pesos energéticos que afetam o sistema, quanto maior for o volume de água captada, maior será  $Wb_{et}$ , diminuindo a eficiência. Daí que sejam relativamente baixa a micro-eficiência do sistema Valbom, também por este motivo.

Assim, de forma a perceber as relações entre estes dois sistemas, de forma se poder introduzir alterações para melhor o sistema e precaver alterações, importante será realizar um estudo como um determinado sistema vai influenciar um outro sistema mais jusante. Daí importante fazer uma abordagem de análise a varias escalas para perceber das influencias locais e como se influíam uma com a outra.

Analisando a figura abaixo, onde se pode perceber das ligações dos dois sistemas, toma-se como princípio que parte de  $R_f$  gerado em Souropires ( $Rfs$ ), ao ser a parte do escoamento que retoma à captação principal, fará parte de  $V_a$  do sistema Valbom ( $Vav$ ). Da mesma forma  $R_p$  gerado no sistema Souropires ( $Rps$ ), que é a parte do escoamento que não retoma à captação principal e será parte constituinte de  $O_s$  de Valbom ( $Osv$ ).

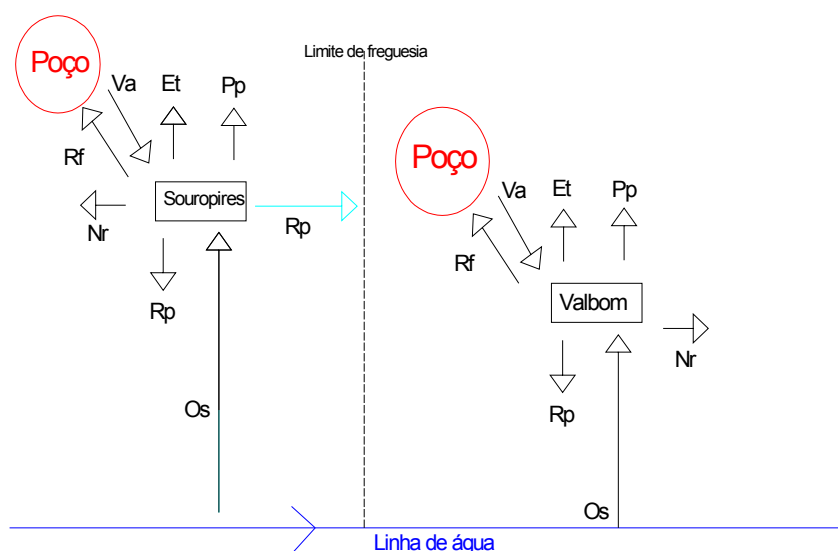


Figura 18- Relação entre os possíveis caminhos dos dois sistemas em análise

Da análise dessa mesma figura percebe-se que as relações entre fluxos são difusas e pouco claras. Considerando qualquer gota de água (independentemente da origem) terá vários caminhos dentro do SRH ou ser encaminhada para sistemas a jusante. Aí também poderão ter diversos caminhos. De forma a simplificar essa questão e ser feito o estudo de como o sistema Souropires vai influenciar o sistema Valbom, vai-se reduzir paulatinamente os valores de  $V_a$  e  $O_s$ , por via da redução de  $R$  no sistema Souropires. As tabelas obtidas são as seguintes:

Tabela 19- Redução de  $V_a$  no sistema Souropires

<b>Fluxo</b>	<b>Ref.</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b><math>V_a</math></b>	30	25	20	15
<b><math>P_p</math></b>	364,3	364,3	364,3	364,3
<b><math>O_s</math></b>	10	10	10	10
<b><math>E_t</math></b>	388	388	388	388
<b><math>R</math></b>	16,3	11,3	6,3	1,3
<b>iMesoEs</b>	84,1	83,8	83,5	83,1
<b>cMesoEs</b>	83,4	83,3	83,2	83,1
<b>Micros</b>	80,0	80,9	81,8	82,8

Tabela 20- Redução de  $V_a$  e  $O_s$  no sistema de Souropires

<b>Fluxo</b>	<b>Ref.</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>
<b><math>V_a</math></b>	30	25	20
<b><math>P_p</math></b>	364,3	364,3	364,3
<b><math>O_s</math></b>	10	8	6,4
<b><math>E_t</math></b>	388	388	388
<b><math>R</math></b>	16,3	9,3	2,7
<b>iMesoEs</b>	84,1	83,5	83,0
<b>cMesoEs</b>	83,4	83,1	82,9
<b>Micros</b>	80,0	81,1	82,3

Da leitura destas duas tabelas fica evidente que a redução do volume de água de rega, seja por via de  $V_a$  como por via de  $O_s$ , implica consequente redução de  $R$  (sejam escoamentos superficiais, sejam escoamentos subterrâneos), baixando o valor de iMesoEs e cMesoEs, mas aumentando Micros.

Percebendo agora como esta redução de R vai ter implicações no sistema Valbom, será feita uma redução dos valores OsV e VaV, simulando efeito da redução do volume de água por via da diminuição desse R. Os dados obtidos são aqueles das tabelas seguintes:

Tabela 21- Redução de Va no sistema Valbom

<b>Fluxo</b>	<b>Ref.</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
<b>Va</b>	50	40	30	20	10
<b>Pp</b>	364,3	364,3	364,3	364,3	364,3
<b>Os</b>	15	15	15	15	15
<b>Et</b>	382	382	382	382	382
<b>R</b>	47,3	37,3	27,3	17,3	7,3
<b>iMesoEs</b>	76,24	75,5	74,7	73,8	73,0
<b>cMesoEs</b>	73,21	73,0	72,8	72,6	72,4
<b>Micros</b>	65,0	66,4	67,8	69,4	71,0

Tabela 22- Redução de Va e Os no sistema Valbom

<b>Fluxo</b>	<b>Ref.</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Va</b>	50	40	30	20
<b>Pp</b>	364	364	364	364
<b>Os</b>	15	12	10	8
<b>Et</b>	382	382	382	382
<b>R</b>	47,3	34,3	22,3	10,3
<b>iMeso<sub>s</sub></b>	76,2	75,1	74,0	72,8
<b>cMesoEs</b>	73,2	72,8	72,4	72,1
<b>Micros</b>	64,9	66,7	68,4	70,2

Da mesma forma como se passou como no exemplo anterior o aumento de R, faz com que se diminua o valor das meso-eficiências, mas aumenta o valor da micro- eficiência. Este facto pode ser explicado por diversos fatores:

- A redução paulatina de Va e Os no sistema Souropires (a montante), induz reduções em R, que faz com que no sistema Valbom (sistema a jusante) se reduza a disponibilidade de água e perda de eficiência ao nível de iMesoEs e cMesoEs
- O aumento da micro- eficiência, pela redução de R gerado no sistema a montante, é explicado pelo facto de esta ser muito parecida como a eficiência clássica. Traduz apenas melhor aproveitamento de água, gerando menos «desperdício»;

- A informação oferecida por esta tabelas é mais rica do que aquela que está disponível nos quadros anteriores, onde se considera a eficiência das duas freguesias juntas ou em separado. Verifica-se que depois de feita esta simulação que as eficiências são sempre inferiores do que consideradas as duas freguesias em conjunto. Esta informação ajuda a perceber melhor a interdependência dos dois sistemas. Mas também ajuda a perceber que a melhoria de um deles não pode levar ao prejuízo do outro sistema. Demonstra-se assim a não linearidade dos SRH's e que estes estudos têm que ser feitos de acordo com critérios claros e transparentes definidos pelos *stakeholders*.

Assim se percebe que os dois sistemas estão dependentes, um do outro e que a forma como a água chega a um sistema (tanto a nível da qualidade como de quantidade) é influenciável pelo que acontece com sistema que lhe está a montante. Assim, a perda de eficiência nos sistemas relaciona-se com o uso de água do sistema a montante. Esta simulação demonstrou serem válidas as ideias de Perry *et al* (2009). Ficou ainda demonstrado que os sistemas que promovam poupança ao nível de captação podem prejudicar os sistemas a jusantes, originando perda da sua eficiência, precisamente por essa água que foi «poupada» atrás não esteja mais disponível. Justifica-se também a perda de meso-eficiências.

A construção destes cenários ajuda melhor a perceber a realidade dos sistemas, ao aproximar-se mais com a realidade de uma região, pois a análise isolada de pequenos sistemas despreza o conhecimento do que possa passar no sistema vizinho. É mais útil delinear uma estratégia que considera a inter-dependência entre os sistemas. Esta questão é importante na hora da tomada de decisões, por parte dos *stakeholders* e decisores locais; se o foco da gestão será a nível da freguesia (ou mesmo de propriedade) ou é mais interessante uma visão mais global, como por exemplo, a gestão a nível de concelho. Demonstra o quão é prático e útil este método ao permitir uma análise a várias escalas.

No entanto, foi descurado um detalhe. Ao considerada a redução de  $V_{av}$  (pela redução de  $R_s$ ), não se considerou a potencial redução do consumo energético para rega. Refazendo o calculo de *Sefficiency*, com a posterior ajuste de ENN e do  $W_{b_{et}}$ , obtiveram-se os seguintes resultados:



Tabela 23- Cálculo de Sefficiency com  $W_{bet}$  ajustado (apenas redução de  $V_a$ )

Fluxo	Ref.	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
<b>Va</b>	50	40	30	20	10
<b>Pp</b>	364,3	364,3	364,3	364,3	364,3
<b>Os</b>	15	15	15	15	15
<b>Et</b>	382	382	382	382	382
<b>R</b>	47,3	37,3	27,3	17,3	7,3
<b>WbET1</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>ENN</b>	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13
<b>WbET2</b>	0,71	0,73	0,74	0,77	0,78
<b>iMesoEs</b>	76,2	77,2	78,1	79,1	80,1
<b>cMesoEs</b>	73,2	74,9	76,5	78,1	79,8
<b>Micros</b>	64,9	68,0	71,3	74,7	78,2

Tabela 24- Cálculo de Sefficiency com  $W_{bet}$  ajustado (apenas redução de  $V_a$  e  $O_s$ )

Fluxo	Ref.	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Va</b>	50	40	30	20
<b>Pp</b>	364,3	364,3	364,3	364,3
<b>Os</b>	15	12	10	8
<b>Et</b>	382	382	382	382
<b>R</b>	47,3	34,3	22,3	10,3
<b>WbET1</b>	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>ENN</b>	0,21	0,19	0,17	0,15
<b>WbET2</b>	0,71	0,73	0,74	0,77
<b>iMesoEs</b>	76,2	76,8	77,4	78,2
<b>CMesoEs</b>	73,2	74,6	76,1	77,6
<b>Micros</b>	64,9	68,3	71,8	75,5

Verificou-se que a redução do volume de água captada, leva a que o consumo energético seja também inferior, aumentando de imediato o valor global de todas as eficiências, por aumento de  $W_{bet}$ . Qualquer melhoria das eficiências dos sistemas tem que passar pelas alterações dos padrões energéticos dos sistemas. Ficou assim demonstrada a importância da energia na sustentabilidade dos SRH.

É muito importante estudar a resposta dos SRH's face às alterações climáticas. Neste estudo, em concreto, apenas se considerou a diminuição dos inflows de água pela redução de  $V_a$  e  $O_s$ , onde já se conclui que leva à redução de  $R$  e perda de eficiência de  $iMesoEs$  e  $cMesoEs$ . Os mesmos resultados serão evidenciados caso se considere a redução de  $P_p$

e aumento de Et. Facilmente se conclui que, face a cenários de alterações climáticas, haverá perda de iMesoEs e cMesoEs.

O ano em estudo por particularmente sensível a este respeito. Pelo que, dotar os *stakeholders* de instrumentos de decisão, será bastante útil e necessário. Assim, com estudos deste género, fica mais fácil perceber estas implicações e responder de forma pronta e eficaz face a estes cenários.

Fica desde já um alerta para situações de seca e elevadas temperaturas como a do ano do estudo e seja possível responder às necessidades hídricas das plantas. O aumento da água irrigada, por exemplo, pode prejudicar a eficiência dos SRH's. Será necessário desenhar sistemas que respondam a estas situações de alterações climáticas, já que se prevê que seja o comportamento dos próximos anos. Seja qual seja a opção agronómica (aumento de volume de água de rega, aproveitamento do escoamento, seleção de métodos de rega que consumem menos água de rega, entre outras soluções), é importante (pensando apenas neste caso de estudo em concreto) encontrar uma solução que passe pela redução dos consumos de energia. Nesta ótica, será feito de seguida um estudo considerando a redução dos consumos energéticos, sem diminuir a quantidade de água de rega.

O objetivo deste estudo passa por alterar o padrão de consumos verificados, ou seja, alterar a linha de tendência (relação  $V_a - E_n$ ), partindo da ideia que esta alteração se faça pela diminuição da inclinação dessa linha. Isto pode ser feito de três formas: alterando o volume de água captada, baixando o consumo de energia ou da associação dos dois fatores anteriores. Como parece pouco plausível que seja possível diminuir  $V_a$  e  $O_s$  (pelo contrário, parece mais provável que estes valores aumentem) então, será estudada o efeito da redução dos consumos.

Para estudar os efeitos da redução do volume de água para rega terá no cálculo dos indicadores de performance compostos, seguiu-se o seguinte esquema de trabalho: como o agricultor S1, é um caso particular (por ser o único que faz rega gota a gota e usa um motor elétrico), não se efetuara aqui nenhum tipo de alteração; depois serão escolhidos 5 agricultores da amostra, escolhidos de forma sequencial e alternada conforme estão seriados na tabela 13, começando por V1, mas não alterando S2 e assim sucessivamente, reduzindo 20% do seu consumo energético, mantendo ainda o volume da captação. Dessa redução dos consumos, obteve-se a seguinte tabela:

Tabela 25- Consumos dos elementos da amostra depois de alguns se lhe reduzir o respetivo consumo

	<b>Captação (m³/ha)</b>	<b>Localização</b>	<b>Principal Cultivo</b>	<b>Tipo de rega</b>	<b>Fonte de energia</b>	<b>Consumo de Energia (mj/há)</b>
<b>S1</b>	40	Souropires	Vinha	Gota-a-gota	Motor elétrico	87,9
<b>V1</b>	250	Valbom	Batata	Superficial	Gasolina	276
<b>S2</b>	300	Souropires	Batatas e hortícolas	Superficial	Gasolina	343,3
<b>S3</b>	300	Souropires	Hortícolas	Superficial	Gasolina	367,7
<b>V2</b>	350	Valbom	Batatas	Superficial	Gasolina	393,4
<b>V3</b>	400	Valbom	Hortícolas	Superficial	Gasolina	518,4
<b>S4</b>	425	Souropires	Batatas e hortícolas	Superficial	Gasolina	346,1
<b>S5</b>	500	Souropires	Cereal	Superficial	Gasolina	613,8
<b>V4</b>	550	Valbom	Pastagem	Superficial	Gasolina	448,1
<b>V5</b>	600	Valbom	Pastagem	Superficial	Gasolina	511,0

Foi obtida a seguinte linha de tendência e consequente relação En-Enn

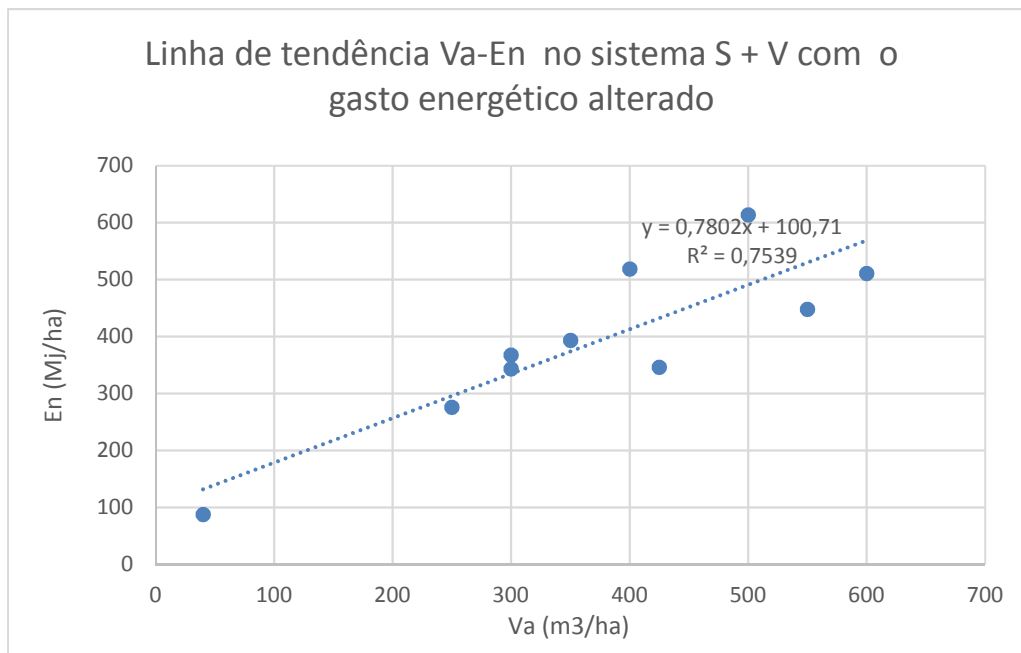


Figura 19- Relação volume de água captada consumos de energia, depois de reduzido o consumo de alguns elementos da amostra inicial

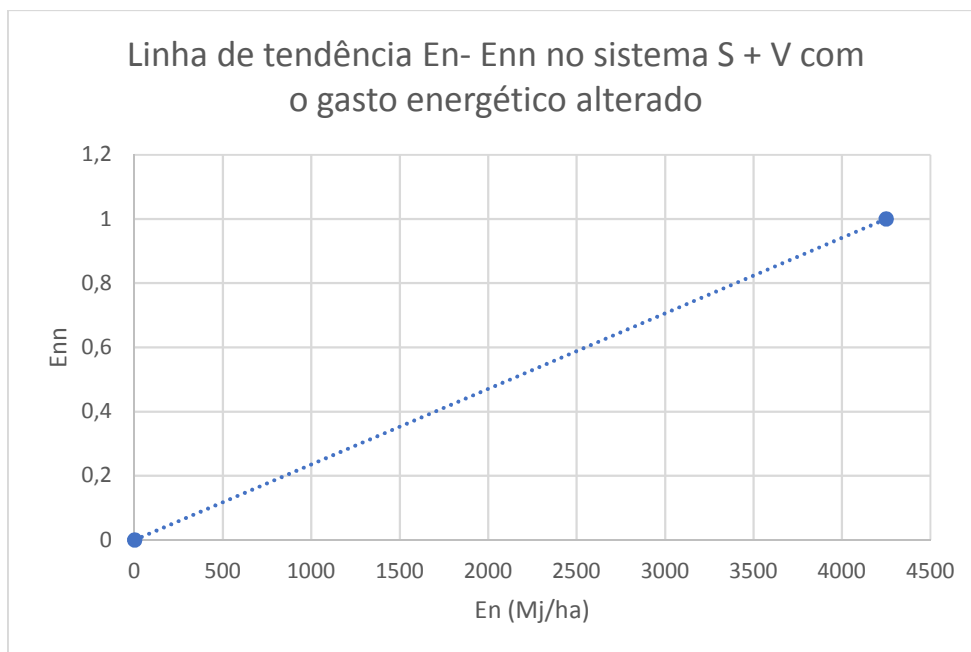


Figura 20- Relação En-Enn depois de reduzido o consumo de alguns elementos da amostra inicial

Duma primeira análise, verificou-se uma redução da inclinação das retas, que terá como consequência a obtenção de um Enn mais baixo que será 0,128. Também o respetivo  $Wb_{et}$  será mais alto, assumindo valor de 0,78. Recalculando as eficiências, obteve-se um valor de 81,2 para iMesoEs, 80,3 para cMesoEs e 77,0 para MicroEs.

Evidencia-se um aumento das eficiências. Apesar de não ser muito alto, mas atendendo que apenas se alterou apenas uma parte da amostra, extrapolando para a totalidade da freguesia, poderão ser resultados muito interessantes de aumento das eficiências nestas duas freguesias.

Constatou-se que a redução do consumo energético é fundamental para se conseguir um aumento global das eficiências dos SRH. Este fator será mais decisivo que a própria redução dos volumes totais de água captada pois para o caso de meso-eficiências prejudica não só o valor deste parâmetro, do próprio sistema, bem com dos sistemas mais a jusante, como demonstrado atrás.

Por fim, para perceber de que forma se podem introduzir outro tipo de melhorias nestes sistemas, será ponderada a hipótese de introduzir novas culturas. Já foi referido neste trabalho que, no futuro, na região há uma aposta no incremento na produção de frutos secos, nomeadamente, amêndoa. De conversas com agricultores, alguns evidenciaram

essa vontade, pelo que de seguida se segue uma previsão do cálculo de eficiência, com a introdução da cultura da amendoeira, mantendo todas as outras culturas.

Este estudo também se revela de vital importância, pois pelo processo de alterações climáticas, é bem possível que se verifiquem alterações profundas no tipo de culturas existentes, sendo conveniente que os agentes locais estejam precavidos, desde já, com esta situação e desenvolvam formas de responder a esta ameaça.

Sendo assim, pretendeu-se calcular novamente *Sefficiency* considerando a introdução de amendoeiras. Em primeiro lugar, serão introduzidos 50 hectares desta espécie, no sistema Souropires, e depois, será recalculada a eficiência. O valor de  $K_c$  para as amendoeiras resultou de trabalhos desenvolvidos por Ribeiro (2014). Assim, considerando um amendoal em pleno desenvolvimento,  $K_c$  tomo o valor de 0,9. O cálculo de  $K_r$  será 0,85.

Considerando os dois sistemas em conjunto (S + V), foi recalculado  $E_{tc}$  (ver tabela 26). Os valores de *Sefficiency*, para esta nova realidade, estão na tabela 27.

Tabela 26- Cálculo de  $E_{tc}$  com introdução de 50 ha de amendoeiras

	<b>Área (ha)</b>	<b><math>E_{t0}</math> (mm)</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>K_r</math></b>	<b><math>E_{tc}</math> (mm)</b>
<b>VINHA</b>	1087	1200	0,7	0,6	504
<b>OLIVAL</b>	416	1200	0,65	0,8	624
<b>HORTÍCOLAS E BATATAS</b>	56	1200	0,9	1	1080
<b>CULTURAS ANUAIS DE SEQUIERO</b>	89	1200	0,7	1	840
<b>FORRAGENS E PASTAGENS</b>	441	1200	0,55	1	660
<b>AMÊNDOA</b>	50	1220	0,9	0,85	918
				<b><math>E_{tc}</math> final</b>	<b>390</b>

Tabela 27- Cálculo de Sefficiency com introdução da cultura de amendoeira

<b>Fluxo</b>	<b>Situação de Referência</b>	<b>Cenário com Introdução das Amendoeiras</b>
<b>Va</b>	40	40
<b>Pp</b>	364,3	364,3
<b>Os</b>	12	12
<b>Et</b>	400	390
<b>R</b>	16,7	26,7
<b>WbET1</b>	0,9	0,9
<b>ENN</b>	0,13	0,13
<b>WbET2</b>	0,78	0,78
<b>iMesoEs</b>	80,9	81,4
<b>CMesoEs</b>	80,1	80,1
<b>Micros</b>	76,1	74,9

Verifica-se que a introdução deste cultivo, melhorou ligeiramente as meso-eficiências, mas baixou Micros, algo similar a simulações anteriores.

O desenho dos sistemas propostos pelos *stakeholders* será determinante para a obtenção dos objetivos proposto para gestão e bom desempenho dos SRH's. considerando esses mesmos objetivos, e no caso deste estudo, a introdução de uma cultura que atualmente se reveste de interesse económico muito interessante, como são as culturas de frutos secos, em detrimento de outras, que já não são tão interessantes, mesmo que sejam um pouco mais exigentes no que toca a recursos hídricos, pode-se revelar positiva para a economia de um dado local, sem por em causa a eficiência do mesmo.

Em jeito de conclusão final, *Sefficiency* se revelou um método muito útil para apurar quais as opções a tomar, no que toca a decisões de gestão de recursos hídricos, tendo em vista as diversas variáveis, que foi o que foi feito neste estudo.

## **8. Proposição de mediadas corretivas**

Análise dos resultados, efetuado no capítulo anterior, já deu para ver quais poderão ser as medidas propostas para melhorar estes sistemas. Estas passam, por três eixos principais:

- Controlo dos escoamentos e melhorar a retenção de água nos solos;
- Diminuir a energia gasta para extração de água para rega;
- Introdução de novas culturas ou substituição de produções.

De seguida, passarão a ser descritas algumas medidas concretas para cada uma destas ações propostas.

### **8.1. Controlo dos escoamentos e melhorar a retenção de água nos solos**

O objetivo principal desta ação visa propor medidas que tenham como alvo a retenção de água do interior dos solos e controlar os fluxos de escoamento. Ficou demonstrado que quanto maior for  $R$ , menores serão as meso-eficiências destes sistemas, prejudicando também as meso-eficiências dos sistemas a jusante e ainda parte dos possíveis retornos financeiros. Serão descritas algumas medidas concretas para diminuir o valor de  $R$ , passando pela melhoria estrutura dos solos e controlo da sua erosão, de forma a que o aumento dessa capacidade de armazenamento permita melhorar a gestão da água, em qualquer sistema agrícola.

#### **8.1.1. Enriquecimento do solo em matéria orgânica**

A maioria dos solos em Portugal são deficitários em matéria orgânica (mo). Raros são aqueles superiores a 2%. No entanto, recomenda-se que a percentagem mínima de mo nos solos seja, precisamente, superior a essa percentagem. O teor de mo é importante porque favorece a estrutura do solo, levando à formação de agregados mais estáveis que facilitam a circulação de água, ar e nutrientes no interior do solo. Isto é determinante para facilitar a penetração das raízes das plantas e diminuição do risco de erosão.

Ao aumentar a capacidade de retenção de água no solo, torna-o menos sensível à seca, que é muito importante em solos de textura mais ligeira (solos mais arenosos, típicos da Beira Interior). Isto também vai permitir a retenção de água nos interstícios dos solos, favorecendo a constituição de lençóis freáticos, contribuindo para o abastecimento dos poços.

Uma das formas para atingir os 2% recomendados acima será a incorporação de matéria orgânica nos solos pela incorporação periódica de corretivos orgânicos como lamas de ETAR e outros resíduos provenientes da própria atividade agrícola como estrumes, chorumes, de restos vegetais, desde que em boas condições sanitárias.

Tendo em conta o clima desta região, é muito importante pensar nesta solução, pois os climas secos são mais propícios a uma decomposição mais acelerada da matéria orgânica e aumento consequente da taxa de mineralização (Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2000).

#### 8.1.2. Fertilizações racionais das culturas

A fertilização racional exige que se conheça quais as disponibilidades do solo ao nível dos nutrientes e quais as necessidades nutritivas de cada cultura. Todo este estudo é importante pois a fertilização excessiva leva à contaminação das águas das escorrências e posterior contaminação dos lençóis freáticos que, ao ser usado num sistema de rega a jusante leva ao deterioro da qualidade da água. Falando em termos práticos deste trabalho pode dar-se a diminuição dos pesos benéficos dos fluxos, baixando a eficiência desse sistema.

#### 8.1.3. Racionalizar as mobilizações de solos

Uma das práticas que mais contribui para a erosão dos solos é a mobilização frequente com equipamentos que pulverizam as camadas mais superficiais dos solos. Recomenda-se assim que as mobilizações sejam reduzidas ao máximo, sobretudo durante o Outono. Menores mobilizações dos solos permitem que se estabiliza a sua estrutura e se minimizem os riscos de erosão. Quanto maior o risco de erosão do solo mais restrito deve ser o sistema de mobilização (Duarte & Castanheira, 2001).



Evitar esta pulverização dos solos e consequente perda de estrutura, tem como consequência a não conservação de água nos solos, perda de produtividade agrícola, e aumento dos valores de R.

#### 8.1.4. Cuidados a ter no cultivo em terrenos declivosos

Muitas das recomendações aqui mencionadas não são suficientes para terrenos de grande declive. Por isso, outras técnicas terão de ser aplicadas para a proteção dos solos e controlo das águas das escorrências. Surge assim a necessidade de criar estruturas que defendam os solos contra os agentes da erosão, pelas alterações do declive das colinas. Sugere-se a construção de socacos e de terraços nesses terrenos declivosos.

Estas estruturas devem-se desenvolver ao longo das curvas de nível, transversalmente ao sentido das escorrências, de forma a constituir barreiras ao livre fluxo das enxurradas, disciplinando-as mediante infiltração no canal do terraço ou condução para fora do terreno de cultivo. Com isso, as águas das chuvas, ao escoarem superficialmente, perdem sua força, removendo menos sedimentos do solo e causando menos impactos sobre ele. Assim, proporcionam condições às partículas para resistir às forças de arraste, facilitar a infiltração dessa água nos solos e assegurar a drenagem do excesso de água.

Recomenda-se ainda que as culturas anuais sejam colocadas em áreas planas ou menos declivosas, pois são estas aquelas culturas que menos proteção oferecem. Nos terrenos de declive medio deve colocar-se as zonas de pastagem e pastoreio (ou mesmo para silagem), enquanto que nos terrenos de declive acentuado recomenda-se zonas destinadas à silvo-pastorícia ou mesmo apenas para floresta ou vegetação natural. (Duarte & Castanheira, 2001).

## 8.2.Redução do consumo de energia nas captações

Dos cálculos efetuados atrás, comprovou-se que este era o fator mais decisivo para se obter um aumento global das eficiências. Aconselha-se algumas alterações nos sistemas de rega. Conforme o Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energia (2005) recomendam-se as seguintes medidas para reduzir os consumos de energia em sistemas de rega:

- instalação de tanques que funcionem como reservatórios, de forma a baixar a altura de elevação de água, baixando a necessidade de ter bombas tão potentes;
- melhoria ao nível do sistema de distribuição de água (tubagem e órgão acessórios) de forma a diminuir possíveis perdas de carga;
- instalação de dispositivos que permitam medir as necessidades hídricas em tempo real, de forma a monitorizar os sistemas e introduzir correções em tempo real (quando seja possível);
- apostar na manutenção periódica dos sistemas de rega;
- desenvolver estudos de forma a instalar sistemas ajustados às reais necessidades dos usuários;
- instalação de sistemas de bombagem utilizando energias alternativas (painéis solares).

Em relação este último ponto, verificou-se a instalação de sistemas por bombagem recorrendo a painéis fotovoltaicos pode vir a ser uma solução de futuro para alcançar esta meta da redução de consumo em sistema de regas. A inovação pode ser uma chave aqui para a transformação dos sistemas.

Como se reparou, tais medidas destinam-se a reduzir do consumo de energia. Mas, conforme fora já mencionado atrás, outra possibilidade seria reduzir a quantidade de água extraída. Não se irá desenvolver este tema, pois considera-se contraproducente para o objetivo do estudo, como já foi justificado atrás.

### **8.3. Introdução de novas culturas ou substituição das produções existente**

Este trabalho demonstrou a utilidade em introduzir novas culturas e diversificar a oferta produtiva. A questão é saber se é mais útil substituir aquilo que está plantado ou introduzir novas culturas.

A questão é complexa, como se demonstrou neste texto. Cada caso é um caso e terão que ser feitas análises em concreto, para cada situação. Mais útil será, com base em critérios agronómico, desenvolver projetos e depois efetuar cálculos de eficiência para validar

estas ideias. A utilidade de Sefficiency será para perceber e dotar com critério matemáticos os decisores, de forma a justificar as opções tomadas.

## 9. Conclusão

Depois de completa a aplicação do método *Sefficiency*, para calcular a eficiência de um SRH na Beira Interior, surge este capítulo final que serve para apresentar uma série de recomendações sobre esta temática, discutir algumas melhorias nos sistemas hídricos e lançar ideias para trabalhos futuros.

### 9.1. Considerações finais

Este trabalho passou por diversas etapas, começando pelo acompanhamento de literatura que abordasse esta questão, depois pela recolha de informação, tratamento e análise dos dados recolhidos, por perceber o funcionamento dos sistemas e propor alterações aos mesmos

Da elaboração desta dissertação foi possível compreender que os indicadores compostos são uma mais valia para perceber o real funcionamento de um SRH, pois considera todos os fluxos (tanto os fluxos de saída como de entradas de água), ao fazer como que esta simulação se aproxime o mais possível do ciclo hidrológico. Ao assumir que se baseia na lei de conservação de massa, tenta ser um método de aplicação universal, por ser válido em qualquer SRH. Considera ainda o uso benéfico dos fluxos de água e o peso da qualidade por ter em atenção a deterioração física, química e biológica dos meios físicos e tome em conta aquilo que a sociedade considera que é benéfico.

Ao ter níveis de análise (macro, meso e micro eficiência) é muito importante para a tomada de decisões e sucesso de gestão destes sistemas, pois possibilita a obtenção de resultados de eficiência para as diferentes *stakeholders*, consoante o nível de análise. Diferentes conclusões se observam quando se pretende analisar uma bacia, uma sub-bacia, uma fábrica, uma exploração agrícola ou sistema de abastecimento urbano.

Outra mais valia deste método é a incorporação de parâmetros energéticos no cálculo das eficiências. Ficou demonstrado que o gasto energético é fundamental para a sustentabilidade dos SRH e que não pode ser descurado. Aliás, da análise de *Sefficiency* deste trabalho demonstrou-se que o gasto de energia era o fator mais importante para o desenvolvimento de sistemas que sejam o mais sustentado possíveis.

A principal dificuldade para a aplicação deste método aqui aplicado foi a obtenção de dados. Na grande maioria das situações, estes eram inexistentes ou insuficientes, pelo que durante a realização deste estudo foi necessário recorrer a trabalho de campo, entrevistando os agricultores locais e conversando com os *stakeholders* e decisores locais para se obter essa informação em falta. Particularmente difícil foi a obtenção dos valores de volumes de água para rega e o gasto energético associado porque a grande maioria dos agricultores não tinha uma ideia exata desses consumos. Mas ainda assim, recorrendo a alguns cálculos foi possível obter dados fiáveis. Na sequência do que foi dito, salientar a não existência de valores de campo para  $R_p$  e  $R_f$ . Este só foi possível obter através da equação do balanço hídrico, considerando que todas as entradas e saídas são zero e que os outros valores já foram calculados, sendo necessário fazer uma extrapolação deste valor.

De qualquer forma, e depois de concluído o estudo, pode-se dizer que esta abordagem foi muito útil, pois daquilo que se apurou no trabalho de campo e da análise feita no terreno, conseguiu-se ter uma melhor perceção dos problemas com que os agricultores se deparam a diário. Algumas das medidas das melhorias aqui propostas resultaram desse dito contacto.

A agricultura é importante para a economia da Beira Interior e, em especial para o Município de Pinhel. É uma das principais atividades económicas do concelho. Em alguns casos é a única fonte de rendimento de muitas famílias. Para além da sua benesse económica, não se pode esquecer pode ser um veículo de cultura e também é algo relacionado com as vivências dos seus habitantes. Também está diretamente relacionada com o meio ambiente porque quando mal gerida, pode ser foco de contaminação. Mas está sujeita a uma crescente pressão de urbanização descontrolada, pressões do mercado global e ameaças à confiabilidade e disponibilidade de água doce. São necessárias ações para assegurar um setor agrícola sustentável.

Com este trabalho fica patente a necessidade de mudança de paradigma: face à escassez de recursos, em que, a sociedade, para dar resposta a essa carência, responda com a instalação de novas estruturas para o seu provimento (por exemplo, por construção de barragens), ficou demonstrado que será mais eficaz apostar no desenvolvimento de novas metodologias de gestão da água existente.

O fornecimento de informação (dados climáticos, hidrológico, agronômicos ou de eficiência) aos *stakeholders* e aos agricultores é importante para estes agentes terem uma real ideia de como os seus atos poderão ter efeito no processo de gestão dos recursos hídricos locais. Outra vantagem deste método é a transparência. Ao descrever cada dos caminhos estes usuários sabem exatamente onde podem melhorar.

As melhorias implementadas com vista à eficiência dos recursos hídricos das duas freguesias do presente estudo, ajudam a promover a sustentabilidade a longo prazo do setor agrícola e permitem que os agricultores respondam a uma série de desafios, como as alterações climáticas e a agricultura como alternativa económica e viável para esta região e mesmo para as outras regiões do interior português.

Referir ainda que, ao longo deste trabalho, quase não foi abordada a questão da imposição de melhorias de forma a alterar os pesos. Como os pesos são relativamente altos (grande parte deles iguais a 1), justifica-se assim esta abordagem. Ficou patente que o peso mais importante, e onde se debruçou mais foi em  $Wb_{et}$ , devido aos parâmetros energéticos. No entanto, da alteração de estrutura produtiva do sistema, deverá ser sempre estudado os pesos com atenção, caso haja alguma alteração, seja possível a sua alteração.

Depois de feito este estudo, pode-se, desde já, concluir o seguinte:

- A água é um recurso finito e limitado pela lei universal de conservação de massa que afirma que esta não pode ser criada. Como ficou demonstrada neste trabalho a solução para a escassez de água passaria não pela busca de novas fontes (tal resultaria infrutífero), mas sim pela boa gestão dos recursos disponíveis;
- A análise dos SRH tem que ser feita numa abordagem multi-escala e multi-nível, pois as praticas de gestão da água tem consequência diferentes casos se fale num âmbito local, regional, de sub bacia ou de bacia. Por exemplo, da aplicação deste método, foi possível que redução total do volume de água fornecida, seja qual for a sua proveniência, faz reduzir as meso eficiências, mas aumenta a micro eficiência. Assim se demonstra que os stakeholders são decisivos na hora de escolha dos melhores caminhos de decisão e Sefficiency ajuda a clarificar as opções a tomar;
- Outras das conclusões que se pode tirar deste estudo e que o mesmo corrobora Perry *et al* (2009) ao afirmar que sistemas de poupança de água podem tornar os sistemas a jusante mais ineficientes. Reduções do volume de água ao nível do sistema Souropires (sistema

mais a montante) levou a uma redução de R, fazendo com que a estivesse menos disponível para o sistema Valbom (mais a jusante), reduzindo a eficiência deste. Demonstrou-se que reduções pontuais ao longo dos sistemas poderão ter efeitos nefastos em pontos mais a jusantes das bacias;

- Indo de encontro ao que foi dito anterior ponto, ficou demonstrado que os sistemas que promovam poupança ao nível das captações, induzem a perdas de eficiências aos sistemas a jusante, precisamente por essa água que foi «poupada» atrás não está mais disponível, justificando assim a perda de meso-eficiências;

- Comprovou-se que a micro eficiência é um parâmetro que está muito próxima de eficiência clássica, pois mede o uso da água em função da produtividade do sistema agrícola. Traduz apenas o melhor aproveitamento de água, gerando menor desperdício. No entanto, esta apresenta uma vantagem, pois ao incluir critérios de utilidade considera os parâmetros da qualidade da água e julga os seus usos benéficos, que se pode considerar uma mais valia;

- Os *stakeholders* são vitais no processo de gestão de SRH pois são eles que definem os objetivos e metas. Terão mesmo que fomentar a transparência em todo o processo para que seja eficaz. Ficou demonstrado nesta dissertação que apartir de diversos cenários traçados, fica patente das consequências que determinadas ações poderão ter ou não, ficando mais claro a esses decisores quais os possíveis caminhos a seguir;

- Ficou também evidente também da importância da energia na sustentabilidade destes SRH. A redução do volume de água captada, leva a que o consumo energético seja também inferior, aumento de imediato o valor global de todas as eficiências, por aumento de  $W_{bet}$ . Qualquer melhoria das eficiências dos sistemas tem que passar pelas alterações dos padrões energéticos dos sistemas. Neste trabalho foram propostas algumas medidas que visavam reduzir o consumo de energia nos sistemas de rega, para aumentar as eficiências;

- Dando continuidade a este ponto, a aposta em energia renováveis para produção de energia poderá ser um elemento fundamental para a redução dos encargos energéticos inerentes a qualquer sistema, de forma a aumentar a sustentabilidade, tanto económica com ambiental destes sistemas agrícolas;

- A diminuição do volume de rega do sistema contribui para aumentar a eficiência, quando se fala nos indicadores clássicos de eficiência. Mas quando se trabalha com os indicadores compostos isto pode não ser verdade. Ao falar de sistema emaranhados, as implicações são imprevisíveis, como neste caso. Tanto mais, que poderá por em causa a produtividade dos sistemas agrícolas;
- O controlo do escoamento superficial e subterrâneo é importante para melhorar as eficiências de SRH. Criar condições para que escorrências dos sistemas a montante, para serem encaminhadas para os sistemas a jusante, faz que, no primeiro caso, se controle a perda de solo e ao «canalizar» água para o segundo, aumenta a disponibilidade hídricas para as plantas;
- Fazer alterações ao nível das culturas (introdução de novas espécies ou troca de uma cultura por outra) nos sistemas agrícolas pode ser algo benéfico ou prejudicial, dependendo das circunstâncias próprias dos locais. Por isso, recomenda-se sempre que se faça um estudo de eficiência, propor diferentes cenários, tal como foi feito nesta dissertação.

A visão explorada nesta dissertação vai levar que a gestão da água seja bem mais responsável, sem impactar negativamente a rentabilidade da agricultura ou outros sectores económicos. Recomenda-se algumas iniciativas para incentivar uma gestão de água mais produtiva, eficiente e, em última análise, mais sustentável.

## 9.2 Recomendações de futuros estudos

Uma das possíveis continuidades seria desenvolver estudos que relacionassem o uso agrícola da água com outros usos da região (nomeadamente o industrial e os consumos urbanos). Como neste caso se pretendeu estudar a dependência de um sistema agrícola em relação a outro vizinho, seria interessante perceber a relação entre sistemas agrícolas e, por exemplo, sistemas industriais ou com a rede de abastecimento de água. Seria importante e interessante consultar *stakeholders* diferentes e perceber outros pontos de vista para a gestão da água.

Outro estudo possível passaria por desenvolver este conceito numa índole de bacia hidrográfica ou sub-bacia, para perceber estas relações de uma forma mais profundas.



Outro possível trabalho que pode surgir deste estudo, seria o desenvolvimento de software informático ou páginas na internet para que os técnicos e *stakeholders* trabalhassem com estes indicadores de uma forma mais versátil, dinâmica e acompanhar em tempo real as alterações nos sistemas. Conforme citado, no panorama atual de alterações climáticas este software de medição de indicadores de eficiência seria a ferramenta mais útil para encontrar forma de reagir a estas perturbações e encontrar cenários o mais fidedignos possíveis ante a incerteza.

A ponderação de instalação de sistemas de rega cujo fornecimento de energia passaria pela instalação de energias alternativas (como por exemplo a instalação de painéis fotovoltaicos), seria um estudo importante para perceber o ganho de sustentabilidade no SRH, pela redução dos custos energéticos, que daqui poderiam advir;

Por fim, também seria interessante desenvolver com mais profundidade, seria definir métodos para o cálculo do parâmetro ENN mais objetivos e claros, de forma a aproximar com os reais gastos energéticos.

## 10. Bibliografia

- Agencia Portuguesa do Ambiente (2012). Programa nacional para o uso eficiente da água. Implementação 2012- 2020. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- Agencia Portuguesa do Ambiente (2016). Plano de gestão de região hidrográfica. Parte 2- Caracterização e diagnostico. Região Hidrográfica do Douro. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- Ahmad, M.T.; Haie, N.; Yen, H.; Nasser, A.S.T. (2017). Sefficiency of a Water Use System: The Case of Kano River Irrigation Project, Nigeria. International Journal of Civil Engineering. Disponível em doi:10.1007/s40999-017-0235-2.
- Biggs, E. M.; Bruce, E.; Boruff, B.; Duncan, J.M.A.; Horsley, J.; Pauli, N.; McNeill, K.; Neef, A.; Van Ogtrop, F.; Curnow, J.; Haworth, B.; Duce, S.; Imanari, Y.; (2015). Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. Environmental Science & Policy, 54, 389–397 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115300563?via%3Dihub>
- Câmara Municipal de Pinhel (2007). Carta Educativa de Pinhel. Câmara Municipal de Pinhel, Pinhel
- Câmara Municipal de Pinhel (2015). Plano Diretor Municipal de Pinhel. Câmara Municipal de Pinhel, Pinhel.
- Clemmens, A.J., Allen, R.G., Burt, C.M., (2008). Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems. Water Resources Research, 44, W00E03. Disponível em: doi:10.1029/2007WR006095.
- Comissão Europeia, (2011). A Alteração Climática Está a Acontecer. Acesso em 26 de Maio de 2017 no web site: [http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/what/understandingcc\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/what/understandingcc_pt.htm).
- Cooley, H., Christian-Smith, J., Gleick, P. H., (2008). More with Less: Agricultural Water Conservation and Efficiency in California. A special focus on the delta. Acesso a

2 de Fevereiro de 2017 no Web site: [http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/02/more\\_with\\_less3.pdf](http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/02/more_with_less3.pdf).

- Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de Maio. Estabelece o regime de utilização dos recursos hídricos. Diário da República nº 105, I Série-A.

- Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Diário da República n.º 176, I Série-A.

- Duarte, A. C.; Castanheira, P. (2001). Apontamentos da disciplina de conservação do solo e da água. Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Castelo Branco.

- Haie, N. (2013). Sefficiency (Sustainable efficiency): a Systemic Framework for Advancing Water Security. International Symposium of Ecohydrology and Water Security, Wuhan and Yichang, Hubei, China, October 18-22. (invited speaker). Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/30430>

- Haie, N. (2016). Sefficiency (sustainable efficiency) of water–energy–food entangled systems, International Journal of Water Resources Development. 32:5, 721-737. Disponível em: doi:10.1080/07900627.2015.1070091

- Haie, N. & Keller, A. A., (2012). Macro, Meso, and Micro-Efficiencies in Water Resources Management: A New Framework Using Water Balance. Wiley, Journal of the American Water Resources Association, 48:2, 235–243. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/47350/1/2703-A3043348.pdf>

- Haie, N. & Keller, A. A (2014). Macro, Meso, and Micro-efficiencies and terminologies in water resources management: a look at urban and agricultural differences. Water International, 39:1, pp35-48. Disponível em: doi.org/10.1080/02508060.2013.863588.

- Howarth, C; Monasterolo, I, (2016). Understanding barriers to decision making in the UK energy-food -water nexus: The added value of interdisciplinary approaches. Environmental Science & Policy. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.014>.

- Instituto da Água (2001). Plano de bacia hidrográfica do Rio Douro. Relatório Final. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2005). Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de regadío. IDAE, Madrid. Disponível em: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10330\\_Agricultura\\_de\\_regadio\\_05\\_c325ffde.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10330_Agricultura_de_regadio_05_c325ffde.pdf)
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2017). Boletins agrometeorológicos do IPMA. Acesso a 28 de Outubro de 2017 no web site: <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=agr&idDep=agr&idTema=&curAno=-1>
- Jackson, T. M., Khan, S., & Hafeez, M. (2010). A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*, 97, 1477–1485. Disponível em: doi:10.1016/j.agwat.2010.04.013.
- Mapas do Mundo (S/D). Mapa do distrito da Guarda, Portugal. Acesso a 19 de Maio de 2017 no web site: <https://pt.mapsofworld.com/portugal/districts/guarda.html>.
- Marta, I. S. (1993). Pinhel Falcão. 3ª edição, Câmara Municipal de Pinhel, Pinhel.
- Martín- Gamboa, M.; Iribarren, D.; Garcia-Gusano, D.; Dufour, J. (2017). A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems. *Journal of Cleaner Production*, 150, 164-174. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.017>.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2000). Conservação do Solo e da Água- Manual Básico de Práticas Agrícolas, INGA. Lisboa.
- Nkhonjera, G (2017). Understanding the impact of climate change on the dwindling water resources of South Africa, focusing mainly on Olifants River basin: A review. *Environmental Science & Policy*, 71, 19–29. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.02.004>.
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R. G., & Burt, C. M. (2009). Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, 96, 1517–1524. Disponível em: doi:10.1016/j.agwat.2009.05.005.

- Ribeiro, A. C. (2014). Estratégias de rega deficitária com amendoeira. Jornadas técnicas da amêndoa. Alfandega da Fé. Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Bragança. Disponível no web site: [http://www.drapn.mamaot.pt/drapn/conteudos/jornadas\\_amendoas/Rega%20deficit%C3%A1ria\\_Amendoeira\\_ACRibeiro.pdf](http://www.drapn.mamaot.pt/drapn/conteudos/jornadas_amendoas/Rega%20deficit%C3%A1ria_Amendoeira_ACRibeiro.pdf).
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2017). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Lisboa, APA. Acesso a 3 de Novembro de 2017. Disponível no pagina web: <http://snirh.apambiente.pt/>.
- Teixeira, E. (1996). Reflexões sobre o paradigma holístico e holismo e saúde. Revista da Escola Enfermagem da USP, v.30, n.2, 286-90. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/reecusp/v30n2/v30n2a08>
- Tuqan, N. A. S. (2015). Sefficiency application in water (re)allocation policies. Dissertação de mestrado em engenharia urbana- ramo hidráulica ambiental. Universidade do Minho, Guimarães.
- United Nation Environmental Program (2012). Measuring Water use in a Green Economy. Paris, UNEP.
- United Nations World Water Assessment Program (2014). United Nations World Water Development Report: Water and Energy. Volume I. Paris, UNESCO. Disponível no web site: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf>.
- Vieira, J.M.P.V. (2003). Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Plano Nacional da Água. Revista Engenharia Civil, 5 – 12. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num16/Pag%205-12.pdf>.

# Anexos I

## Inquérito agricultores



Universidade do Minho

INQUERITO SOBRE HABITOS DE REGA EFECTUADOS A AGRICULTORES DAS FREGESUIAS DE  
VALBOM E SOUROPIRES, NO CONCELHO DE PINHEL

1- Qual é o volume de água que usa para rega das suas culturas?

---

---

2- Quais as são as suas principais culturas e respetiva produção anual?

---

---

---

---

3- Quais as fontes de água de rega (precipitação, poços, extração direta da rede pública...)?

---

---

---

---

4- Qual o principal método de rega que utiliza (métodos tradicionais, de superfície, gota a gota...)? Pode fazer uma estimativa, para métodos diferentes, o volume de água usado para cada um deles?

---

---

---

---

5- Qual é o volume da sua produção (principais culturas)?

---

---

---

---

6- Depois da rega, tem ideia para onde vai a água excedentária e qual a quantidade?

---

---

---

---

7- Qual a fonte de energia (gasolina, gasóleo, eletricidade, sistemas solares...)?

---

---

---

---

8- Qual é o gasto anual estimado de energia envolvida da rega das suas culturas?



## Anexo II

### Tabelas do coeficiente cultural

CULTURAS	FASE INICIAL	CRESCIMENTO RÁPIDO	PLENO DESENVOLVIMENTO	FASE FINAL
ARROZ	1,1 – 1,15	1,1 – 1,5	1,1 – 1,15	0,95 – 1,05
BATATA	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	1,05 – 1,2	0,85 – 0,95
BETERRABA	0,4 – 0,5	0,75 – 0,85	1,05 – 1,2	0,9 – 1,0
CEBOLA	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,9 – 1,1	0,85 – 1,15
CITRINOS	0,6 – 0,65	0,6 – 0,7	0,6 – 0,7	0,6 – 0,7
COUVE	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	0,95 – 1,1	0,9 – 1,0
ERVILHA	0,4 – 0,5	0,7 – 0,85	1,05 – 1,2	1,0 – 1,15
GIRASSOL	0,3 – 0,4	0,7 - 0,8	1,05 – 1,2	0,7 – 0,8
MELANCIA	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	0,95 – 1,05	0,8 – 0,9
MILHO	0,3 – 0,5	0,7 – 0,85	1,05 – 1,2	0,8 – 0,95
OLIVEIRA	0,55	0,65	0,65	0,65
PIMENTO	0,3 – 0,4	0,6 – 0,75	0,95 – 1,10	0,85- 1,0
SORGO	0,3 – 0,4	0,7 – 0,75	1,0 -1,15	0,75 – 0,8
TABACO	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,0 – 1,2	0,9 – 1,0
TOMATE	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	1,05 – 1,25	0,8 – 0,95
TRIGO	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,05 – 1,2	0,65 – 0,75
VINHA	0,35 – 0,55	0,6 – 0,8	0,7 – 0,9	0,6 – 0,8

FONTE: Shahidian, 2012, adaptado de Doorenbos e Kassan (1979)